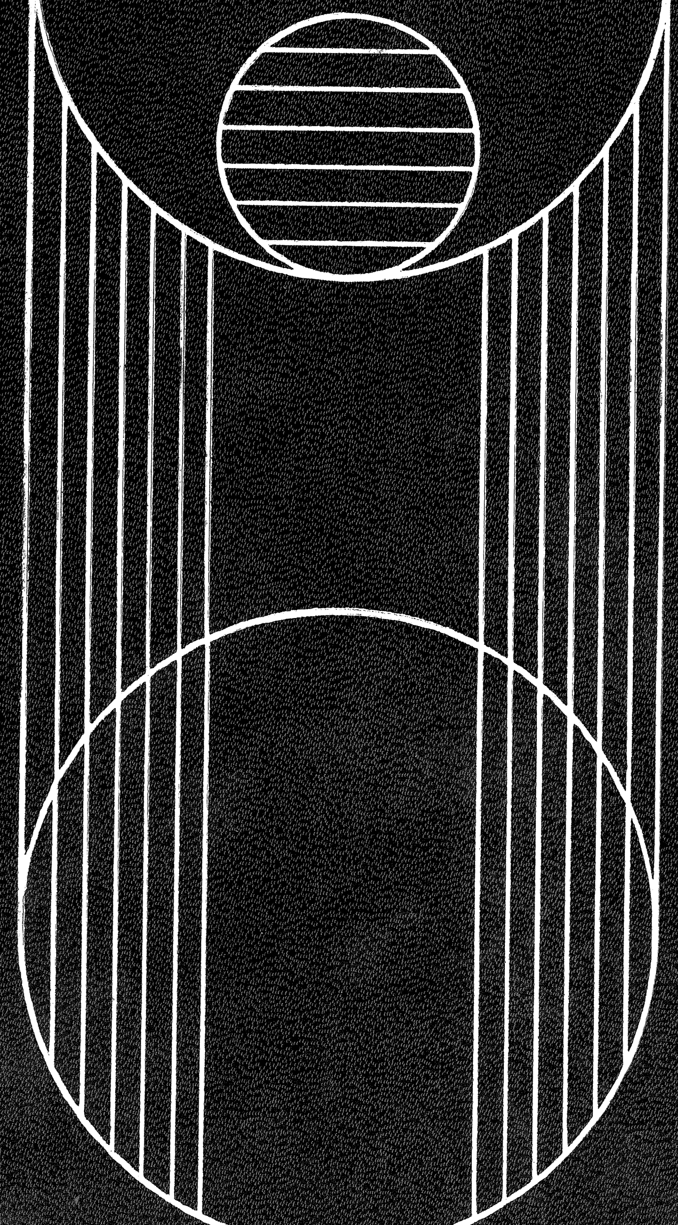
Физиологические проблемы невесомости



Физиологические проблемы невесомости

М

Физиологические проблемы невесомости

Под редакцией
О. Г. ГАЗЕНКО, И. И. КАСЬЯНА



МОСКВА
«МЕДИЦИНА»
1990

УДК 629.78:612.014.447.064

Физиологические проблемы невесомости/Под ред. О. Г. Газенко, И. И. Касьяна. — М.: Медицина, 1990. — 288 с.: ил. — ISBN 5-225-00716-3

О. Г. Газенко — акад. АН СССР; И. И. Касьян — д-р мед. наук.

В монографии рассмотрены основные достижения отечественной космической медицины за 25 лет пилотируемых полетов и новые экспериментальные материалы. Сравниваются результаты физиологических исследований, проведенных во время полета космонавтов на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7». Рассматриваются показатели гемодинамики, фазовой структуры сердечного цикла и особенно мозгового и периферического кровообращения в состоянии покоя и во время выполнения функциональных проб. Впервые описаны результаты изучения кислородного режима тканей у космонавтов. Приводятся данные о патогенезе космической формы болезни движения. Описываются также вновь полученные данные биохимических, гематологических исследований и состояние водно-солевого гомеостаза в условиях гипокинезии и невесомости. Уделено внимание вопросам профилактики здоровья космонавтов в длительных полетах.

Для врачей, биологов и специалистов, работающих в области космической медицины.

Рис. 21. Табл. 27. Схем 12. Библиогр.: 127 назв.

Рецензент *Г. Н. Крыжановский*, академик АМН СССР.

Монография

Физиологические проблемы невесомости

Зав. редакцией **Ю. В. Махотин.** Научный редактор **С. П. Ландау-Тылкина.** Редактор **Н. Н. Котельникова.** Переплет художника **Е. Л. Гольдина.** Художественный редактор **С. М. Лымина.** Мл. редактор **Н. Ф. Евдощук.** Технический редактор **Г. Н. Жильцова.** Корректор **Л. А. Сазыкина.**

ИБ 4823

Сдано в набор 24.10.89. Подписано к печати 16.02.90. Т-03634. Формат бумаги 60×90 1/16. Бумага тип. № 1. Гарнитура Литер. Печать высокая. Усл. печ. л. 18,0. Усл. кр.-отт. 18,0. Уч.-изд. л. 19,62. Тираж 1460 экз. Заказ № 1383. Цена 4 р. 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Медицина». 101000, Москва, Петроверигский пер., 6/8.

Московская типография № 11 Государственного комитета СССР по печати. 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.

Ф $\frac{4107010000-193}{039(01)-90}$ 29—90

ISBN 5-225-00716-3

Посвящается тридцатилетию космической эры

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы значительно расширились медико-биологические исследования на космических кораблях и орбитальных станциях типа «Салют» и «Мир». Увеличение продолжительности полетов до 237 сут способствовало получению новых важных фактических материалов о влиянии невесомости на организм человека.

В книге представлены основные достижения отечественной космической медицины за 25 лет пилотируемых полетов, сделан анализ механизмов физиологических изменений, наблюдаемых в состоянии невесомости, на основании которого рассматривается целесообразность применения профилактики в длительных космических полетах. Особое внимание в книге уделено сравнению результатов физиологических исследований, проведенных во время полетов экипажей на орбитальных станциях «Салют-6» и «Салют-7». Рассматриваются данные гемодинамики, фазовой структуры сердечного цикла, особенности мозгового и периферического кровообращения, а также ультразвуковые исследования сердечно-сосудистой системы космонавтов в до- и послеполетном периоде при выполнении различных дозированных нагрузок. Особый интерес представляют вновь полученные данные о состоянии водно-электролитного гомеостаза и его регуляции в условиях гипокинезии и невесомости.

Определенное внимание уделено вопросу оптимизации режимов труда и отдыха, медицинскому обеспечению и контролю за здоровьем космонавтов как при работе внутри станции, так и вне корабля при проведении различных монтажных и ремонтных работ.

В книге рассмотрены и возможные механизмы космической болезни движения, широко освещен вопрос «синдрома невесомости» и сделан критический анализ проблемы его патогенеза, предпринята попытка освещения проблемы невесомости с позиций классического учения о гомеостазе организма. Кроме того, описаны основные звенья патогенеза невесомости на фоне применения существующих профилактических средств.

Результаты исследований на обезьянах позволили впервые показать, что возбудимость каналовой части вестибулярного аппарата в невесомости существенно повышается. Исследования двигательной функции у животных выявили заметные изменения, связанные с реорганизацией управления мышечным сокращением. В космическом полете прослежена также дина-

мика количественных сдвигов кровотока, питающего мозг и мягкие ткани головы животных.

Материалы книги свидетельствуют о заметном расширении медико-биологических исследований после выхода в свет книги «Физиологические исследования в невесомости».

В этой области работают большие творческие коллективы Института медико-биологических проблем Министерства здравоохранения СССР и других смежных организаций.

Несомненно, материалы, рассмотренные в настоящем коллективном труде, представляют интерес не только для специалистов, работающих в области космической медицины, медиков, биологов, инженеров, но и для широкого круга читателей, интересующихся вопросами освоения космического пространства.

Академик АН СССР О. Г. ГАЗЕНКО

Раздел I

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕВЕСОМОСТИ

ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ ЗА 25 ЛЕТ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ

О полете первого человека в космос часто говорят и пишут как о шаге в неизвестное. Это утверждение, на мой взгляд, справедливо только отчасти. Ведь в истории человечества таких шагов было немало. И каждый такой шаг (а они всегда будут совершаться в процессе развития цивилизации) должен осуществляться на основе определенной суммы знаний. Мне кажется, что для совершения «космического» шага человечество необходимой суммой знаний располагало.

Прежде всего остановимся на трех важных этапах, которые предшествовали полету человека в космос и послужили как бы фундаментом для осуществления такого исторического события.

Первый этап — возрастание в 30-х годах в нашей стране интереса к изучению верхних слоев стратосферы. А, как справедливо считали пионеры практической космонавтики, без покорения стратосферы, без знания ее свойств немыслимо ни создание высотной реактивной авиации, ни завоевание космоса.

Важными вехами этого этапа были Всесоюзная конференция по изучению стратосферы, проведенная АН СССР (1934 г.), и Всесоюзная конференция по применению реактивных летательных аппаратов в освоении стратосферы (1935 г.). Наряду с обсуждением различных технических проблем на них поднимались и вопросы, которые непосредственно касались пребывания человека в условиях полетов в стратосферу и космос.

Так, на конференции 1934 г. в докладе академика А. И. Иоффе говорилось о большом значении изучения действия космических лучей, а в докладе С. П. Королева — о важности изучения действия ускорений на организм человека.

На конференции 1935 г. был поставлен вопрос о возможности применения ракеты для полета человека. В докладе, сделанном на этой конференции С. П. Королевым, говорилось о проблемах обеспечения пилота всем необходимым для работы на больших высотах, шла речь о скафандрах и «жизненных запасах», о действии ускорений и среды герметичной кабины, рассматривались многие другие вопросы.

О большом значении, которое придавали создатели ракетной и космической техники вопросам состояния человека в полете, свидетельствует и тот факт, что в программу подготов-

ки инженеров на организованных в 1932 г. при ГИРДе инженерно-конструкторских курсах по ракетной технике был включен курс физиологии высотного полета, который читал один из основателей авиационной медицины Н. М. Добротворский. В его работах, опубликованных в 30-е годы, были впервые сформулированы основные условия, характеризующие деятельность человека и основные медицинские процедуры и мероприятия, необходимые для обеспечения безопасности летного труда.

Второй этап — создание в 40—50-х годах серьезного теоретического фундамента для развития исследований, связанных с полетом человека в космос, в который вошли труды блестящей физиологической школы академика Л. О. Орбели, работы В. В. Стрельцова, А. В. Лебединского и ряда других ученых, заложивших научные основы космической медицины.

На этом этапе проводились эксперименты, давшие хорошие результаты в области прикладной физиологии и профессиональной медицины. Важные данные были получены в области морской и особенно авиационной медицины, а также при изучении эффектов действия тех или иных факторов космического полета путем моделирования их на Земле. Были созданы удобные для работы центрифуги, баро- и сурдокамеры, наземные источники ионизирующего излучения. С помощью этой аппаратуры изучалось действие таких факторов, как ускорение, различные температурные режимы, шум и вибрация и т. д. На основе получаемых в этих исследованиях данных разрабатывались и соответствующие средства защиты — противоперегрузочные костюмы, скафандры, высотное кислородное оборудование и т. д.

Важное значение имел и тот факт, что к началу космических полетов в области биологии и медицины произошел качественный переход на более тонкие и точные количественные методы оценок и исследований состояния живого организма, в том числе и человека. Успешно решались вопросы, связанные с передачей различных физиологических и биологических параметров на большие расстояния (биотелеметрия), и появилась возможность осуществлять автоматическое управление постановкой экспериментов, использовать кино и телевидение.

Третий этап — осуществление в 50-х годах серии экспериментов на животных и различных других биологических объектах с использованием ракет, запущенных на высоты 110—450 км. Более 50 собак совершили полеты на этих ракетах (многие неоднократно). Результаты были обнадеживающими — в условиях кратковременной невесомости не было отмечено изменений, которые дали бы основания считать, что этот необычный для живых организмов фактор вызывает резкое изменение физиологических функций и поведения. Весомый вклад в эти исследования, проводившиеся под руководством А. В. Покровского, внесли В. И. Яздовский, В. И. Попов, А. Д. Серяпин, А. М. Генин, Е. М. Юганов и другие специалисты.

Важнейшим шагом на пути человека в космос стали исследования, проведенные в полетах второго искусственного спутника Земли (ИСЗ) и космических кораблях-спутниках. Уже при полете знаменитой Лайки на втором ИСЗ, выведенном на орбиту 3 ноября 1957 г., ученые получили информацию о поведении и функциях животного в условиях длительной невесомости. Принципиальное значение имел односуточный полет в августе 1960 г. собак Белки и Стрелки — первых живых существ, совершивших полет в космос и благополучно вернувшихся на Землю. Непосредственно в преддверии полета Ю. А. Гагарина в марте 1961 г. были успешно осуществлены полеты животных и многочисленных биологических объектов на четвертом и пятом кораблях-спутниках. Благодаря этим исследованиям была дана общая оценка условий, в которых оказываются живые организмы Земли, совершающие полеты в космическое пространство. В этих же полетах проводились отработка и испытание систем жизнеобеспечения, которые в конечном счете должны были обеспечить возможность существования человека в кабине космического корабля.

Таким образом, к тому времени, когда на повестку дня был поставлен вопрос о возможности полета в космос человека, специалисты-медики имели немалый опыт изучения тех условий и воздействий, с которыми первому землянину предстояло встретиться в космосе.

Крупнейшие ученые нашей страны В. А. Энгельгардт, Н. М. Сисакян, П. К. Анохин, В. В. Парин, В. Н. Черниговский и другие приняли участие в детальном и всестороннем обсуждении биологического и медицинского обеспечения возможности и программы осуществления полета человека в космос.

Сумма накопленных знаний позволила сформулировать научно обоснованный вывод о том, что полет человека в космос возможен и может быть организован с необходимой степенью безопасности.

Вместе с тем только полет человека в космос мог дать полный ответ на главный вопрос — сможет ли человек выдержать все связанные с таким полетом нагрузки. Достаточно вспомнить, что в то время было немало ученых, утверждавших, что человек не может трудиться в состоянии невесомости, более того, полагавших, что психика нормального человека не выдержит встречи с невесомостью, страха перед космической бездной.

Триумфальный полет Юрия Гагарина опроверг пессимистические прогнозы, показал, что человек может летать в космос, открыл в него дорогу человечеству. Последовавший через несколько месяцев односуточный полет Германа Титова подтвердил это и доказал, что человек не только может перенести космический полет, но и успешно жить и работать в космосе. Началась эпоха полетов человека в космическое пространство с целью его исследования и освоения.

Полет человека в космос положил начало новому научному направлению — космической медицине. За 25 лет, прошедших со дня запуска первого пилотируемого корабля «Восток», космический полет совершили уже более 200 человек. Некоторые космонавты неоднократно побывали в космосе, самая большая продолжительность пребывания в космосе к 1 января 1989 г. составляет один год.

Космическая медицина как практическая отрасль биологических знаний ориентирована на создание условий для пребывания человека в космических полетах, на защиту его от агрессивного воздействия факторов космической среды. Она включает в себя ряд направлений: отбор и подготовку космонавтов по медицинским показаниям; организацию жизни человека на борту космического корабля; медицинский контроль и профилактику неблагоприятного действия факторов космического полета; радиационную безопасность космических полетов; социльно-психологические проблемы и др.

За 30 лет космической эры существенные изменения произошли в подходах к решению вопросов отбора и подготовки космонавтов. Если на первых этапах требовалось «отменное» здоровье, то сейчас взгляды на этот вопрос несколько изменились. Мы теперь можем несколько снизить требования к показателям физического здоровья кандидатов в космические полеты. Это связано с усовершенствованием космической техники, созданием достаточно комфортных условий на борту космических аппаратов, значительным улучшением системы медицинского контроля и профилактических мер. Одновременно осуществляется и усовершенствование системы отбора и подготовки космонавтов. Наибольшее внимание уделяется выявлению функциональных возможностей организма человека, адаптивности, приспосабливаемости, потому что, не обладая сильно выраженными показателями, характеризующими функциональное состояние той или иной системы организма, можно обладать способностью легко приспосабливаться к меняющимся условиям среды, что является очень важной биологической реакцией.

В связи с увеличением длительности полетов, объема и специализации работы, выполняемой космонавтами на борту, в настоящее время все более высокие требования предъявляются к уровню профессиональной подготовки людей, максимальной эффективности их деятельности на орбите. Возникает необходимость рассмотрения возможности посылать в космический полет высококвалифицированных специалистов различных областей науки, что, естественно, может быть связано и с расширением возрастных границ, и с участием в космических полетах женщин. Во время подготовки космонавтов, так же как и при отборе, серьезное внимание сейчас обращается на возможность эффективного осуществления мероприятий, связанных со стабилизацией здоровья людей.

Таким образом, наблюдается переход от очень повышенных требований, предъявляемых к здоровью космонавтов для обеспечения надежности выполнения сравнительно непродолжительных полетов, к «понижению» этих требований с одновременным осуществлением мероприятий по стабилизации их здоровья на время, соответствующее разумной продолжительности полета.

Все увеличивающаяся продолжительность полетов диктует необходимость постоянного совершенствования санитарно-гигиенических условий и проведения широкого круга исследований в этом направлении с целью создания комфортных условий обитания и рабочей деятельности членов экипажей. В этом направлении сделан большой шаг вперед.

Важное место занимает вопрос гигиенической оценки среды обитания. Это контроль температуры и общего давления газовой среды, влажности и парциального давления кислорода и углекислого газа, количественного и качественного состава органических примесей, выделяемых человеком и конструкционными материалами. Это и санитарно-микробиологический контроль среды обитания, а также аутомикрофлоры кожи, ротоносовой полости членов экипажей. Результаты исследований в этом направлении постоянно в ходе полета передаются на Землю. Кроме того, с экспедициями посещения доставляются в наземные лаборатории различные пробы и материалы для анализа.

Значительный прогресс наблюдается в санитарно-бытовом обеспечении космонавтов. В настоящее время космонавт в полете может ежедневно чистить зубы, умываться, бриться, принимать душ, регулярно менять нательное белье. Все это является важным звеном в сохранении здоровья космонавтов и хорошего психического статуса.

Питание в сегодняшних длительных полетах мало отличается от земного. У космонавтов имеется возможность подогревать пищу, в разнообразное меню включены первые и вторые горячие блюда. С помощью транспортных кораблей экипажам длительных экспедиций доставляются продукты по их желанию, в том числе свежие овощи, фрукты и т. д.

В последние годы для экономии бортовых запасов воды все шире используются системы ее регенерации, в частности достигнута полная регенерация атмосферной влаги. На повестке дня стоит и вопрос о пополнении пищевых запасов на борту с помощью создания биолого-технических систем жизнеобеспечения. Определенными достижениями в этом направлении являются успешные эксперименты с растениями и различными другими биологическими объектами, проводимые на биологических спутниках Земли и на орбитальных станциях. В конечном счете речь идет о создании на борту космических аппаратов автономных экологических систем, способных к относительно длительному устойчивому существованию на основе замкнутого

круговорота веществ, с собственными механизмами саморегулирования и самоуправления, как это происходит в биосфере.

Заметным образом изменилась и организация медицинского контроля в космических полетах. На их начальном этапе основное внимание уделялось контролю выживаемости человека, необходимости определения критических изменений среды или состояния здоровья человека для решения вопроса о возможности продолжения полета или его прекращения. При этом использовалось относительно малое число средств регистрации физиологического состояния организма или среды обитания.

В настоящее время большое внимание уделяется определению стадий и эффективности адаптации человека к условиям полета, прогнозированию возможности увеличения его продолжительности.

Заметно расширились и методы исследований, проводимых в полете. Сейчас на борту орбитальных станций имеется практически хорошо оборудованный кабинет для комплексного изучения состояния здоровья человека, включающего многофункциональные комплексы для регистрации функций различных органов и систем, использование приборов для детального изучения деятельности сердечно-сосудистой системы, различных аппаратов для исследования органов зрения и вестибулярного аппарата, кислородного режима в тканях и водно-солевого обмена.

Следует сказать несколько слов о медицинских исследованиях, выполненных во время полетов на советских космических кораблях и орбитальных станциях «Салют-6», «Салют-7» и «Мир» в 1978—1988 гг. международными экипажами с участием космонавтов Чехословакии, Польши, Болгарии, Венгрии, Монголии, Румынии, Кубы, ГДР, а также Франции, Индии Сирии и Афганистана. Основной задачей этих исследований являлось дальнейшее изучение влияния на организм человека факторов космического полета, в первую очередь невесомости, в первые дни пребывания в космосе, в так называемый период острой адаптации. Важно отметить, что в этих кратковременных полетах широкий круг медицинских исследований был выполнен с помощью приборов и аппаратуры, разработанных и созданных специалистами этих стран — участниц программы «Интеркосмос».

Так, при изучении кислородного режима в тканях организма человека был использован чехословацкий прибор «Оксиметр»; пороговой чувствительности вкусовых рецепторов — польский прибор «Электрогустометр»; исследование реакций биоэлектрической активности мозга проводилось с помощью кубинской аппаратуры «Кортекс»; изучение влияния условий космического полета на операторские навыки и работоспособность — венгерского прибора «Балатон» и болгарского «Средец»; исследования сердечно-сосудистой системы — французского «Эхографа» и индийского «Вектора» и т. д.

Результаты медицинских исследований и экспериментов, выполненных во время полетов международных экипажей, позволили значительно расширить и углубить наши сведения о влиянии космоса на человека. Кроме того, следует отметить, что многие приборы, разработанные по программе «Интеркосмос», с успехом используются во время проведения медицинских исследований в ходе длительных полетов советских космонавтов.

В специально отведенные дни проводится углубленное медицинское обследование членов экипажа. При этом регистрируется широкий круг параметров в состоянии покоя и при выполнении различных физических нагрузок.

Принципиально новые возможности непрерывного медицинского наблюдения и самонаблюдения, оценки здоровья и работоспособности всех членов экипажа непосредственно на околоземной орбите открыло участие в длительном 237-суточном космическом полете врача-исследователя. Во время полета врач О. Ю. Атьков регулярно проводил осмотр космонавтов, выслушивал сердце и легкие, проверял давление и частоту сердечных сокращений. Он провел некоторые оториноларингологические и офтальмологические обследования, что позволило получить объективные данные о динамике кровоснабжения носоглотки, барабанной перепонки, органа зрения в различные периоды адаптации к невесомости. В ходе полета он брал у космонавтов пробы крови из пальца и вены, тут же на месте определял ряд биохимических и гематологических показателей, характеризующих основные обменные процессы и их динамику.

При длительных полетах медицинский контроль за состоянием здоровья космонавтов является начальным звеном стройной системы: медицинский контроль — прогнозирование состояния здоровья — профилактика.

На основе информации, получаемой ежедневно и в дни медицинского обследования, группа специалистов дает прогноз на ближайшее время и на более отдаленные сроки. При необходимости к работе этой группы привлекаются ведущие советские ученые различных областей медицины. Естественно, прогноз составляется не только на основе данных текущего полета. Он складывается в результате опыта, приобретенного в ранее проведенных космических рейсах, большого числа наземных исследований и экспериментов по моделированию влияния факторов космического полета на организм человека. Система прогнозирования состояния здоровья космонавтов направлена на выявление ранних и скрытых изменений, что позволяет своевременно принимать правильные решения об оздоровительных, профилактических или лечебных мероприятиях.

В качестве примера правильного решения, принятого на основе анализа всей медицинской информации о состоянии здоровья космонавтов и прогностических оценок, можно при-

вести разрешение на выполнение космонавтами В. А. Ляховым и В. В. Рюминым (во время их 175-суточного космического рейса) сложных работ вне корабля. Когда до завершения их работы на орбитальной станции «Салют-6» оставались считанные дни, встал вопрос о необходимости выполнения сложной операции вне станции (отделение антенны). Медики, исходя из всего анализа предыдущей информации о состоянии здоровья космонавтов в полете, уровне их работоспособности, с учетом всей трудности предстоящей работы, большого эмоционального напряжения, которого она требовала, приняли решение о возможности выполнения космонавтами на 172-е сутки полета такой ответственной работы, которая была успешно осуществлена, и космонавты через 3 дня благополучно вернулись на Землю.

Другим примером построения правильного медицинского заключения на основе прогностических оценок явился допуск В. В. Рюмина к полету через сравнительно небольшой промежуток времени (около полугода) после завершения им 175-суточного космического рейса. Успешное проведение Л. И. Поповым и В. В. Рюминым 185-суточного полета явилось еще одним убедительным свидетельством правильности прогностических выводов, строящихся на комплексном анализе медицинской информации.

Длительные полеты потребовали и решения вопроса о профилактике неблагоприятного воздействия невесомости на организм космонавта. Цель использования профилактического комплекса — препятствовать развитию полной адаптации к невесомости и сохранить эффективное функционирование механизмов, необходимых человеку для жизни в условиях гравитационного поля Земли. Задача заключается в том, чтобы с помощью средств профилактики не дать системам организма «забыть» свое земное предназначение, «напомнить» им о их роли на Земле.

Тренировки на велоэргометре и «бегущей дорожке» являются существенной нагрузкой на мышечный тонус. Этому же способствует и ношение космонавтами специального костюма «Пингвин». В его ткань вшиты резиновые тяжи, которые при движениях создают определенное напряжение различных мышечных групп. При тренировках с использованием вакуумного костюма «Чибис», создающего отрицательное давление на нижнюю половину тела, кровь из верхних отделов устремляется в сосуды ноги и тем самым имитируется кровообращение, характерное для организма человека в земных условиях.

Огромная роль в совершенствовании средств профилактики принадлежит самим космонавтам, в каждом полете ведущим неустанный поиск. Например, В. В. Коваленок и А. С. Иванченков в ходе 140-суточного полета устроили себе некое подобие штанги: между резиновыми тяжами, расположенными вертикально по бокам «бегущей дорожки», приспособили на уровне груди перекладину и отжимали ее вверх и вниз. В. А. Ляхов и В. В. Рюмин во время 175-суточного полета придумали массу оригинальных упражнений с резиновыми амортизаторами для разработки мышц плечевого пояса и стоп. Л. Д. Кизим, В. А. Соловьев, О. Ю. Атьков в 237-суточном полете в эксперименте «Спорт» использовали некоторые новые режимы тренировок на «бегущей дорожке» и велоэргометре. При этом ставилась цель за счет более интенсивных нагрузок сократить время, затрачиваемое на физические упражнения, и высвободить его для других работ. Для тренировки мышц плечевого пояса и рук они регулярно занимались на ручном велоэргометре. Все новое, вносимое космонавтами в полетах, весь предыдущий опыт учитывается при подготовке следующих полетов, используется космонавтами во время работы на орбите.

Средства профилактики продолжают совершенствоваться на основе более глубокого понимания физиологических реакций человека в космическом полете. В настоящее время рекомендации врачей во многом носят некий усредненный характер, они рассчитаны на некоего среднего человека. Дальнейшее совершенствование должно идти по линии более точного и строгого подбора методов и средств для каждого этапа полета с учетом индивидуальных особенностей организма каждого космонавта.

С целью обеспечения радиационной безопасности полетов осуществляется тщательный контроль радиационной обстановки на трассе полета, для определения дозы радиации на корабле установлены дозиметры, они имеются и на одежде каждого космонавта. Все осуществленные до сих пор полеты проходили в условиях относительно спокойной радиационной обстановки, в которой доза ионизирующего излучения, полученная космонавтами, составляла не более 5 бэр (биологический эквивалент рентгена).

Полеты, пролегающие в настоящее время по трассам, расположенным ниже радиационных поясов Земли, не представляют очевидной опасности для человека. В то же время перспектива будущих межпланетных сообщений требует более полного учета специфики биологического действия тяжелых частиц космического излучения. Невозможность полной имитации этого вида ионизирующего излучения на Земле повышает важность проведения биологических опытов на космических аппаратах, совершающих полеты за пределами ее радиационных поясов.

Увеличение продолжительности пребывания человека в космосе потребовало решения очень сложного комплекса психологических проблем. Работа человека на борту космического корабля сопряжена с целым рядом трудностей (развитие утомления, снижение психической работоспособности и мотивации, иногда нарушение сна и др.). Увеличивающаяся продолжительность космических полетов свидетельствует о возрастании роли этих факторов, что обусловливает необходимость постоян-

ного совершенствования системы медико-психологического обеспечения. Психологи участвуют в организации труда и жизни космонавта: помогают определить наиболее рациональные режимы работы и отдыха на различных этапах полета, а также формы досуга, которые в наибольшей мере способствуют восстановлению работоспособности и эмоциональной разрядке. Весьма оправдала себя вошедшая в практику система «психологической поддержки» — комплекс психологических мероприятий (встречи с семьями, со специалистами, с деятелями культуры), направленных на поддержание хорошего настроения и оптимальной работоспособности экипажа.

Будущие космические полеты в качестве непременного условия потребуют участия нескольких групп космонавтов. В связи с этим возрастает актуальность проблемы психологической совместимости членов экипажей. Экипаж создается как коллектив, в котором доминируют общественно полезные цели. Его формирование достигается, с одной стороны, путем психологического отбора кандидатов с наиболее развитой способностью к участию в коллективных формах деятельности, с другой — психологической подготовкой членов экипажей и выработкой у космонавтов навыков к саморегуляции эмоционального тонуса, к управлению некоторыми физиологическими реакциями на основе так называемого принципа обратной биологической связи.

В заключение следует остановиться на некоторых основных выводах, накопленных в результате 30-летнего опыта изучения организма человека в условиях космического полета. В целом складывается впечатление, что человек может удовлетворительно адаптироваться к длительному воздействию невесомости. Мы достаточно ясно и хорошо представляем себе общий ход процесса адаптации к невесомости, отдельные фазы этого процесса, участие тех физиологических систем, которые вовлекаются на том или ином этапе адаптации.

Наиболее существенные достижения получены в области стабилизации здоровья космонавта. Выработаны принципы и методы, которые позволяют в определенной степени управлять состоянием здоровья человека, совершающего космический полет. Однако надо еще много сделать для более глубокого понимания индивидуальных физиологических реакций каждого человека.

Важное значение для будущих достижений в космосе имеют результаты исследований влияния космического полета на женский организм. Двухсуточный полет в 1963 г. на корабле «Восток-6» В. В. Терешковой — первой в мире женщины, побывавшей в космосе, а затем 8- и 12-суточные полеты, выполненные С. Савицкой в 1982 и 1984 гг. на орбитальной станции «Салют-7», не выявили каких-либо существенных различий в реакциях женского и мужского организма на условия космического полета. Кроме того, во время своего второго полета

С. Е. Савицкая в течение 3 ч 35 мин работала вне станции и выполнила уникальный цикл технологических операций. Все это свидетельствует о том, что женский организм успешно переносит влияние факторов космического полета и что женщины могут весьма уверенно трудиться в космосе, выполняя самые сложные задания.

Успешно осуществленные в последние годы длительные полеты свидетельствуют о том, что выбранная советскими специалистами стратегия постепенного, последовательного увеличения времени пребывания человека в космосе себя вполне оправдывает и позволяет все более уверенно обживать космическое пространство.

Можно с достаточной степенью уверенности сказать, что непреодолимых биологических препятствий для длительного пребывания и работы человека в околоземном космическом пространстве, на тех орбитах, на которых сейчас совершаются космические путешествия, не обнаружено. Но, поскольку речь идет о человеке, о его здоровье и безопасности, то каждый новый шаг должен быть скрупулезно взвешен, оправдан, должен опираться на самое тщательное и детальное изучение всего накопленного нами опыта освоения космоса. Ничто не должно выпасть из поля нашего зрения, включая отдаленные последствия космических полетов для организма человека.

РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТАХ

Первый в истории пилотируемый космический полет был совершен гражданином СССР Ю. А. Гагариным 12 апреля 1961 г. на корабле «Восток». К началу 1989 г. в космосе побывало 206 человек из 19 стран мира. Продолжительность пилотируемых полетов возросла со 108 мин до 365 сут.

Полету Ю. А. Гагарина предшествовало не только развитие и создание ракетной техники, обеспечившей выведение корабля «Восток» на орбиту, но и реализация обширной подготовительной программы медико-биологических исследований, которая базировалась на известной гипотезе К. Э. Циолковского о принципиальной возможности активной жизнедеятельности человека в космическом пространстве. Однако эта гипотеза нуждалась в экспериментальном подтверждении. В связи с этим в СССР наряду с обобщением достижений физиологии и авиационной медицины в области изучения влияния неблагоприятных факторов на организм животных и человека были проведены многочисленные лабораторные исследования, специально ориентированные на изучение влияния некоторых факторов космического

полета на организм человека, а также эксперименты с животными при полетах на ракетах в верхние слои атмосферы (1949—1959 гг.) и во время орбитальных полетов на искусственных спутниках Земли (1957—1961 гг.).

В организме животных (52 собаки) при вертикальных запусках 263 ракет на высоту 100—473 км с максимальной продолжительностью пребывания в невесомости около 10 мин не было выявлено существенных расстройств в период кратковременной невесомости, катапультирования и свободного падения с последующим спуском на Землю с помощью парашюта.

Изучение реакций биологических объектов самых различных уровней организации (от вирусов до млекопитающих), в первую очередь собак (всего 7 собак), на втором ИСЗ, а также во время и после полетов возвращаемых на Землю 2—4-го и 5-го советских кораблей-спутников послужило основанием для оптимистического прогноза о том, что человек может достаточно хорошо переносить условия кратковременного полета. Но так как вся эволюция живых существ проходила под воздействием гравитационного поля Земли, то невесомость могла оказаться не безразличным, а, возможно, и повреждающим для организма человека фактором. Теоретические соображения и экспериментальные данные свидетельствовали о возможности развития в невесомости функциональных нарушений ряда систем организма, включая нарушение взаимодействия афферентных систем, развитие симптомов болезни движения, сдвигов в области сердечно-сосудистой системы и т. д. Как предполагалось, эти нарушения не могут существенным образом повлиять на состояние здоровья и работоспособности космонавтов в кратковременном полете. Однако во избежание каких-либо неожиданностей было признано целесообразным ограничить длительность первого космического полета человека одним витком вокруг Земли.

Кратковременные космические полеты человека. В течение первого десятилетия эры пилотируемых космических полетов их продолжительность возросла со 108 мин до 18 сут. Выполненные в этот период медико-биологические исследования (в СССР на кораблях серий «Восток», «Восход», «Союз»; в США по проектам «Меркурий», «Джемини», «Аполлон») доказали возможность относительно кратковременного (длительностью до 2—3 нед) безопасного пребывания человека в условиях космического полета и его активной деятельности вне корабля.

Типичные реакции космонавтов в кратковременных полетах характеризовались развитием космической болезни движения, изменением некоторых показателей сердечной деятельности и непродолжительным нарушением координации движений.

Наиболее существенные изменения со стороны основных систем организма человека наблюдались после полетов. Они проявлялись снижением устойчивости организма к физическим и ортостатическим воздействиям; нарушением координации движений и регуляции вертикальной позы; снижением массы тела, гидратацией организма, уменьшением объема плазмы крови и эритроцитарной массы; астенизацией. Указанные изменения в общем нарастали с увеличением продолжительности космических полетов и после полетов, продолжающихся 14—18 сут, были практически значимыми.

Выявленные послеполетные сдвиги показателей указывали, что для дальнейшего увеличения продолжительности полетов необходимо применять систему соответствующих защитных и профилактических мероприятий, облегчающих приспособление организма человека к земным условиям после завершения полета. Исходя из этого и на основании существующих к этому времени представлений о механизмах влияния факторов полета (в том числе невесомости) на организм человека были разработаны патогенетические принципы и созданы системы профилактических средств и углубленных медицинских обследований. Это обстоятельство явилось необходимой предпосылкой к существенному увеличению продолжительности пребывания человека в космическом полете.

Пилотируемые полеты на орбитальных станциях. Начиная со второго десятилетия эры пилотируемых полетов магистральным направлением развития космонавтики в СССР является эксплуатация длительно функционирующих орбитальных станций, запуск первой из которых («Салют-1») был осуществлен 19 апреля 1971 г. Большой объем орбитальных станций позволяет размещать на них комплекс аппаратуры для обширных медико-биологических исследований и средства для профилактики неблагоприятного влияния невесомости, создавать более комфортные условия быта и личной гигиены, а также снижать влияние на организм гипокинезии, сопутствовавшей полетам на кораблях малого объема.

К настоящему времени (январь 1989 г.) всего в мире запущено 9 орбитальных станций (8 в СССР и 1 в США). В СССР на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» выполнено 38 пилотируемых полетов (75 человеко-полетов), из них 17 длительных (от 1 мес до 1 года) с участием 27 космонавтов, 10 из которых дважды осуществили полеты длительностью свыше 1 мес. В США на станции «Скайлэб» совершили полеты три экспедиции по 3 человека каждая (всего 9 астронавтов), каждая из которых продолжалась 28,56 и 84 сут соответственно.

Увеличение продолжительности космических полетов до 1 года и более стало возможным благодаря использованию системы профилактических мероприятий, что обеспечивало поддержание хорошего состояния здоровья и достаточной работоспособности космонавтов в полете, а также облегчало приспособление к земным условиям (реадаптацию) в послеполетном периоде. При этом не было выявлено существенных сдвигов в организме космонавтов, препятствующих планомерному увели-

2—1383

чению продолжительности космических полетов. Вместе с тем со стороны различных систем организма человека были обнаружены функциональные изменения, которые будут рассмотрены ниже.

Важным дополнением к программам медицинских исследований в условиях пилотируемых полетов является дальнейшее проведение биологических экспериментов в космосе с целью более глубокого и всестороннего изучения механизма влияния факторов космического полета, в первую очередь невесомости, на процессы жизнедеятельности. В СССР в период с 1973 по 1985 г. было запущено 7 биоспутников, специально созданных для проведения биологических экспериментов в космических полетах. Длительность полета первых пяти из них составляла 18,5—22 сут. На борту биоспутников проводились эксперименты с различными организмами — обезьянами, крысами, черепахами, рыбами, насекомыми, ракообразными, яйцами птиц, семенами и проростами высших растений, низшими грибами, бактериальными клетками, культурами растительных и животных клеток. Во время этих экспериментов оценивалось влияние невесомости на элементарные процессы жизнедеятельности, исследовался механизм адаптации различных физиологических систем к невесомости и реадаптации к силе земного притяжения, изучалось комбинированное воздействие на организм невесомости и космической радиации, анализировались биологические эффекты искусственной тяжести.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

В современных космических летательных аппаратах, имеющих герметические жилые отсеки с необходимыми системами жизнеобеспечения, на организм человека оказывает влияние лишь ограниченный комплекс факторов. К наиболее значимым из них относятся: галактическое космическое излучение, невесомость, гиподинамия, гипокинезия, нервно-эмоциональное напряжение. Роль этих факторов в изменении физиологических функций организма в полете неоднозначна.

Ионизирующая радиация при полетах на орбитах ниже радиационных поясов Земли не оказывает заметного влияния на организм, поскольку поглощенная телом космонавта доза даже при 7—8-месячных полетах составляет около 5,0 бэр. При межпланетных полетах важное биологическое значение может приобрести галактическое космическое излучение, состоящее из адронов — атомных ядер химических элементов (преимущественно водорода и гелия), ускоренных до высоких энергий и движущихся с релятивистской (околосветовой) скоростью. Эта наиболее высокоэнергетическая составляющая корпускулярного потока в космическом пространстве по своей

проникающей способности превышает все другие виды ионизирующего излучения. Дозиметрические исследования, проведенные во время полетов на Луну, и основанные на них расчеты показали, что под влиянием воздействия релятивистских адронов человек в течение 2 лет пребывания в космосе может потерять около 0,12% клеток головного мозга. Эта величина ниже таковой при естественном старении. Поэтому в биологическом отношении наиболее существенным является топография пути тяжелой частицы, т. е. возможность ее попадания в жизненно важные центры.

Состав атмосферы в современных орбитальных станциях близок к земному и при нормальной работе систем регенерации и кондиционирования воздуха не оказывает существенного влияния на организм. Гигиенические и социальные ограничения, в определенной степени характерные для условий обитания и деятельности космонавтов в полете, по мере увеличения объема и совершенствования летательных аппаратов и рациональной организации досуга теряют свое значение.

Неблагоприятное влияние гипокинезии — ограничения количества и объема движений — сглаживается вследствие достаточно большого объема современных орбитальных станций, а гиподинамия — недогруженность мышечной системы — в определенной степени компенсируется физической работой и использованием бортовых тренажеров.

Нервно-психическое (эмоциональное) напряжение, возникающее при решении трудных задач или в опасных ситуациях, оказывает заметное влияние на организм космонавтов лишь на ответственных участках полета (выведение на орбиту, стыковка, внекорабельная деятельность, спуск с орбиты, приземление и т. д.).

Невесомость, являющаяся непременным атрибутом космического полета, вызывает, по-видимому, наиболее существенные адаптационные изменения, направленные на установление адекватных взаимоотношений организма с окружающей средой.

Возникающие под влиянием невесомости функциональные сдвиги в организме человека представляют собой сочетание специфических изменений, обусловленных физической природой воздействующего фактора, а также вторичных, неспецифических проявлений развивающихся при этом приспособительных реакций. В условиях космического полета влияние невесомости в значительной степени компенсируется комплексом применяемых профилактических средств. Фактически наблюдавшиеся изменения со стороны основных систем организма являются остаточными отклонениями, которые не удается устранить имеющимися в настоящее время средствами.

ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ И РАЗВИТИЯ ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ОРГАНИЗМА В НЕВЕСОМОСТИ

Общебиологические закономерности влияния невесомости на живые системы. В условиях Земли жизнедеятельность всех живых систем протекает на фоне воздействия гравитации, представляющей собой универсальное взаимодействие между любыми телами и определяемой их массой. Чувствительность к влиянию гравитационного поля различных организмов определяется их размерами и массой. Из других сил, управляющих всеми физическими процессами, — сильные взаимодействия, характерные для тяжелых частиц; слабые взаимодействия, проявляющиеся при радиоактивном распаде; электромагнитные взаимодействия между заряженными частицами — лишь последние имеют важное значение для существования биомолекул. Электромагнитные силы, осуществляющие взаимодействие в биомолекулах, на несколько порядков интенсивнее земной силы тяжести. Поэтому невесомость не может оказывать влияния на молекулярные структуры клеток [Газенко О. Г., Парфенов Г. П., 1982, 1985].

В клетке, находящейся в поле тяготения, по современным представлениям, постоянно конкурируют два процесса — диффузия и конвекция. Диффузия связана с силами молекулярного происхождения, являющимися гравитационно независимыми, а процесс конвекции, обусловливающий распределение молекул в определенных средах в соответствии с их молекулярной массой, зависит от силы тяжести. Теоретический анализ влияния размера объектов на их чувствительность к различным категориям сил показал, что при размере организма меньше 1 мм доминирующую роль играют силы молекулярного происхождения (диффузия), а при больших размерах преобладает влияние гравитации, связанное с массой организма [Went F. W., 1968; Smith A. H., 1975]. По данным E. C. Pollard (1965), основанным на математических расчетах, сила тяжести не оказывает влияния на распределение в клетках, имеющих размер меньше 1 мкм, больших молекул. Отсутствие силы тяжести не может также изменить статического распределения клеточных структур. Из приведенных данных следует, что внутриклеточные и молекулярные процессы, а также жизнедеятельность клеток в целом не зависят, по-видимому, от силы тяжести и не изменяются в невесомости.

Изложенные выше теоретические предпосылки подтверждаются результатами биологических экспериментов, выполненных в космических полетах. Они показали, что внутриклеточные процессы жизнедеятельности являются гравитационно независимыми и протекают одинаково как на Земле, так и в невесомости [Газенко О. Г., Парфенов Г. П., 1982; Ильин Е. А., 1984].

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Сила тяжести, под влиянием которой человек живет на Земле, оказывает не прямое влияние на молекулы или клеточные структуры, а лишь путем деформации отдельных органов или всего организма в целом и смещения жидких сред в направлении вектора гравитации.

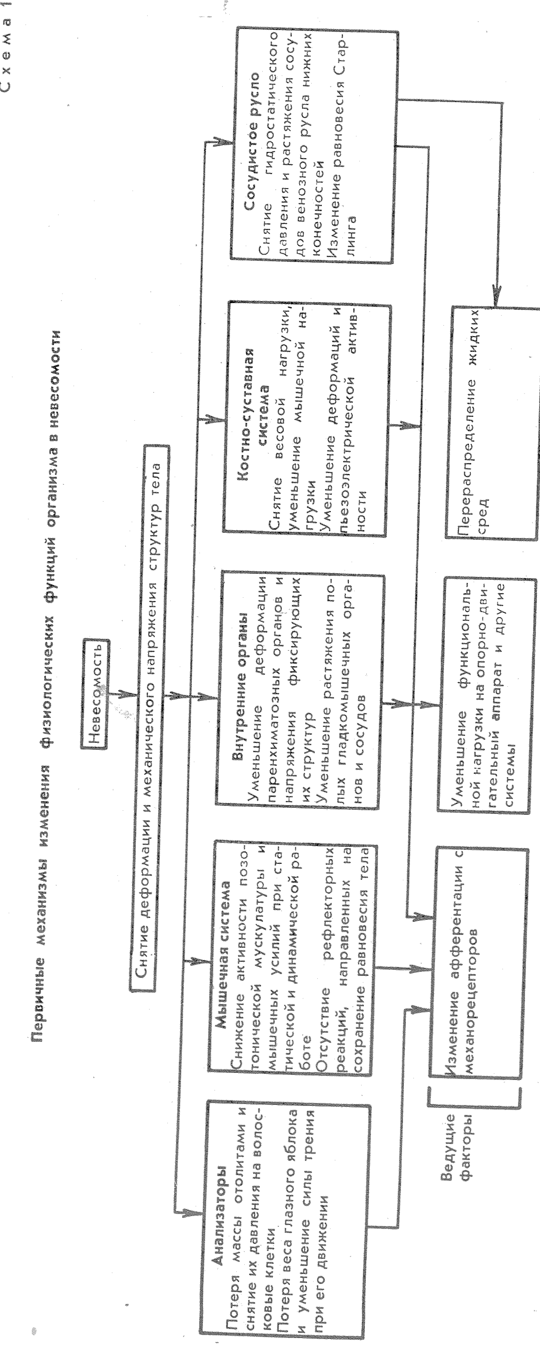
В условиях Земли тело человека оказывает давление на опору, с которой оно соприкасается. При этом каждый нижележащий участок тела человека является опорой по отношению к вышележащему. Отсюда возникает неравномерность распределения воздействия нагрузки массы тела на его различные горизонтальные уровни с увеличением этого воздействия в направлении от верхних уровней к нижним. Одновременно возрастает также степень деформации и механического напряжения структур организма. Давление столба крови в сосудах и других жидких сред организма в полостях тела при вертикальном положении человека также повышается по направлению вектора силы тяжести, что приводит к деформации (растяжению) сосудов, главным образом мелких вен и капилляров.

Эти явления сопровождаются раздражением гравирецепторов, воспринимающих воздействия силы тяжести. В результате обеспечивается постоянный поток импульсации в центральную нервную систему (ЦНС). Следует заметить, что при горизонтальном положении или погружении в жидкую среду на тело человека также действует сила тяжести. Однако в связи с большой площадью ее распределения возникающие при этом деформации в организме человека будут меньше, чем при вертикальном положении тела. В состоянии невесомости прекращается действие силы тяжести, исчезают обусловленные ею деформации и смещение жидких сред, поэтому изменяется и поток афферентной импульсации с гравирецепторов.

Главным звеном в механизме влияния невесомости, определяющим включение всех других механизмов изменения физиологических функций, является снятие в структурах организма деформации и механического напряжения, возникновение которых в условиях Земли связано с влиянием силы тяжести [см. статью «К проблеме патогенеза действия невесомости» в настоящем издании].

Эти явления наиболее заметны в увеличении роста космонавтов в условиях полета.

Основными причинами функциональных изменений в организме человека в условиях невесомости являются изменение афферентного входа; снятие гидростатического давления крови и других жидких сред организма; отсутствие нагрузки на костно-мышечную систему (схема 1).



Реакции, связанные с изменением афферентации. Невесомость как физический фактор может вызвать непосредственные первичные изменения афферентной импульсации лишь от механорецепторов и отолитов, функционирование которых связано с влиянием силы тяжести (гравирецепторы). Теоретический анализ, основанный на общефизиологических представлениях о функционировании механорецепторов, позволяет выдвинуть гипотезу не только об изменении в невесомости афферентной импульсации с различных рецепторных групп, но и об уменьшении ее общего потока. Оно может быть обусловлено потерей веса отолитами, что приводит к отсутствию их давления на волосковые клетки эпителия, воспринимающие раздражение; снижением напряжения позотонической мускулатуры и мышечных усилий при перемещении тела или его отдельных частей в связи с отсутствием необходимости преодоления силы земного притяжения; отсутствием рефлекторных реакций, направленных на сохранение равновесия тела; уменьшением растяжения полых гладкомышечных органов и сосудов; уменьшением деформации паренхиматозных органов вследствие отсутствия веса этих органов и их содержимого; уменьшением нагрузки на костно-суставной аппарат.

Изменение афферентации в невесомости (схема 2) неизбежно приводит к нарушению взаимодействия афферентных систем, что является, по-видимому, основной причиной развития космической формы болезни движения. Эти нарушения конкретно проявляются развитием сенсорных конфликтов в виде поступления из различных сенсорных систем информации, не соответствующей сформировавшемуся ранее, на основании предыдущего жизненного опыта, интегральному чувственному образу, отображающему определенное положение и перемещение тела в пространстве [Reason J. T., Brand J. J., 1975].

Дефицит импульсации с механорецепторов в невесомости может сопровождаться уменьшением активности дорсального отдела гипоталамуса, гипоталамо-гипофизарной системы и ретикулярной формации с ослаблением ее восходящего и нисходящего влияний [Magoun H., 1965]. Поэтому вполне возможно сделать предположение об изменении и установлении нового уровня корково-подкорковых циклических взаимодействий в виде снижения тонуса и уменьшения тормозящего влияния коры на подкорковые образования. Однако вследствие предполагаемого ослабления нисходящих тормозных влияний коры больших полушарий и ретикулярной формации на активность гамма-мотонейронов спинного мозга и синапсы, в том числе на первый сенсорный синапс, действующий «как клапан», фильтрующий сенсорные импульсы [Hagbarth K. E., Kerr D. J., 1954; Hernandes-Peon R., 1961], вероятно, можно ожидать улучшения условий поступления афферентации в ЦНС с ряда сенсорных систем, прежде всего с проприоцепторов.

Схема 2

Гипотетические изменения афферентной импульсации, поступающей с различных рецепторных групп в невесомости

Невесомость → Снятие деформации и механического напряжения структур тела

- **Вестибулярные рецепторы.** Изменение функции отолитовой системы → Снижение модулирующего влияния на рецепторы полукружных каналов → Изменение соотношения импульсации с различных вестибулярных рецепторов
- **Проприоцепторы мышц.** Уменьшение раздражения телец Гольджи и интрафузальных мышечных волокон → Уменьшение афферентной импульсации с проприоцепторов
- **Механорецепторы внутренних органов.** Уменьшение растяжения механорецепторов → Уменьшение афферентной импульсации с механорецепторов внутренних органов
- **Механорецепторы костно-суставной системы.** Уменьшение растяжения механорецепторов → Уменьшение афферентной импульсации остеорецепторов

→ Уменьшение общего объема импульсации, поступающей в ЦНС с механорецепторов

Нервно-эмоциональное напряжение, которое в той или иной степени выраженности наблюдается на различных этапах космического полета, оказывает активирующее влияние на высшие отделы ЦНС и гипоталамо-гипофизарную систему. Конечная реакция одновременного влияния невесомости и эмоционального стресса будет зависеть как от длительности воздействия этих факторов, так и от индивидуальных особенностей организма человека.

В наиболее ответственные периоды полета, в частности во время выведения корабля на орбиту и в первые часы пребывания в невесомости, наблюдаются изменения ряда физиологических показателей [частота сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД) и др.], связанные преимущественно с нервно-эмоциональным напряжением. Это косвенно указывает на развитие эмоционального стресс-синдрома.

Изучение гормональных коррелятов стресса, проводившееся на 216—219-е сутки 237-суточного полета на станции «Салют-7» [Носков В. Б. и др., 1986; Kvetnansky R. et al., 1986], выявило повышение содержания в плазме крови кортизола при практически неизменных концентрациях дезоксикортизола и экскреции этих гормонов с мочой. Уровень адреналина в плазме крови хотя и был слегка увеличен, но по существу не отличался от нормы, а экскреция с мочой катехоламинов и их метаболитов соответствовала предполетным величинам или была даже значительно ниже их. Во время полетов по программе «Скайлэб» также отмечалось увеличение количества кортизола в крови и снижение (или отсутствие существенных изменений) экскреции почками катехоламинов и 17-гидроксикортикостероидов при одновременном повышении экскреции кортизола и продуктов его обмена (17-кетостероидов) с мочой [Leach C. S., Rambaut P. C., 1977]. При этом было выявлено также уменьшение содержания АКТГ в плазме крови (что может быть связано с предполагаемым снижением в невесомости активности дорсального отдела гипоталамуса) и инсулина на 2—3-м месяце полета при отсутствии значимых изменений уровня соматотропного гормона. Приведенные данные о состоянии гормональной функции ряда эндокринных органов указывают, что во время пребывания человека в длительной невесомости не наблюдались типичные гормональные признаки стресс-синдрома.

При изучении гормональных коррелятов стресса важные данные были получены в экспериментах на крысах после их 20-дневного полета на биоспутнике [Kvetnansky R. et al., 1982]. Было установлено, что концентрация норадреналина и активность катехоламинсодержащих ферментов в гипоталамусе крыс была сравнима с результатами, полученными на Земле в контрольной группе животных и в группе с модельным синхронным экспериментом. В некоторых отдельных ядрах гипоталамуса концентрация катехоламинов уменьшалась. Эти дан-

ные также указывают, что состояние невесомости не влияет на организм как длительный стрессогенный стимул.

Реакции, связанные со снятием гидростатического давления жидких сред. Гидростатическое давление крови является важным фактором, оказывающим влияние на функции ряда систем организма и прежде всего на сердечно-сосудистую систему, создавая при вертикальном положении человека значительный градиент давления в различных участках этой системы: в сосудах, расположенных выше уровня сердца, градиент давления будет отрицательным, а на более низком уровне — положительным. Вследствие того что сосудистые стенки растяжимы, в условиях Земли при вертикальном положении тела гидростатическое давление вызывает увеличение объема сосудистого русла, расположенного ниже уровня сердца и депонирование крови пропорционально растяжимости сосудистых стенок.

Имеется ряд механизмов, противодействующих влиянию гидростатического фактора при вертикальном положении человека и обеспечивающих адекватный приток крови к сердцу. Основными из них являются: напряжение мускулатуры конечностей и брюшной стенки, сдавливающее сосуды; сосудодвигательные рефлексы, повышающие тонус сосудистых стенок; активация деятельности «венозной» или «мышечной» помпы (насоса).

При переходе в состояние невесомости гидростатическое давление жидких сред отсутствует и это изменяет характер распределения деформаций сосудистых областей, окружающих их тканей и жидких сред организма (схема 3).

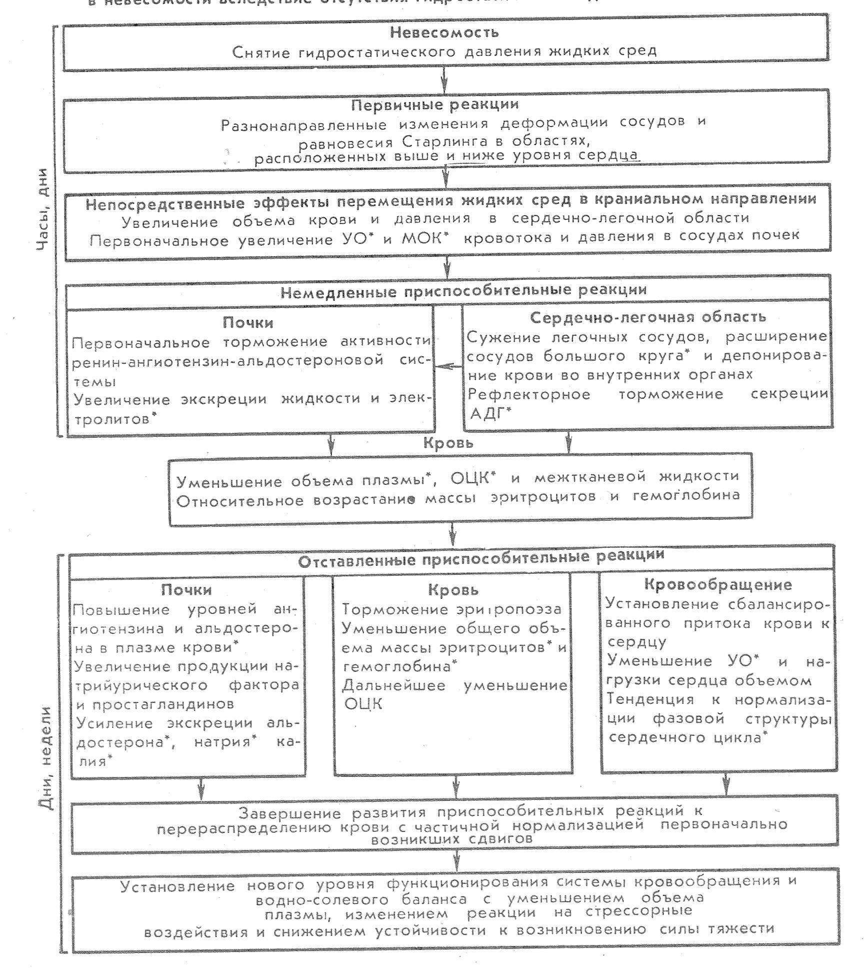
Развивающиеся при этом первичные сдвиги в сосудистых областях ниже уровня сердца характеризуются: уменьшением трансмурального давления и растяжения стенок венозного русла и капилляров; уменьшением сосудистого объема и количества депонированной в этих участках крови с образованием в области голени зон свободной растяжимости вен; преобладанием перехода жидкости из межклеточного во внутрисосудистое пространство, что способствует первоначальному увеличению объема циркулирующей крови. В сосудистых областях, расположенных выше уровня сердца, возникают противоположные изменения. В результате происходит частичное перемещение крови и других жидких сред в верхнюю часть тела.

В полете непосредственные эффекты перемещения жидких сред организма проявляются: смещением центра масс тела по направлению к голове, которое, как это было показано [Thornton W. E. et al., 1977], не зависит от увеличения роста космонавтов; ощущением прилива крови к голове, появлением отечности лица, переполнением и растяжением вен в области шеи и кожи головы; уменьшением объема голени.

Предполагаемое увеличение центрального объема крови и давления в сердечно-легочной области (об этом свидетельству-

Схема 3

Гипотетические механизмы изменений физиологических функций организма человека в невесомости вследствие отсутствия гидростатического давления



ют результаты многочисленных модельных исследований при погружении человека в иммерсионную среду или при постельном режиме) может привести к изменению соотношения между перфузией и легочной вентиляцией, которая рефлекторно повышается вследствие переполнения малого круга кровообращения и необходимости оксигенации большего объема венозной крови, поступающей в сосуды легких.

Перемещение жидких сред в верхнюю часть тела и изменение равновесия между фильтрацией и абсорбцией жидкостей в области капилляров сопровождается в полете повышением венозного давления в областях, расположенных выше уровня сердца (яремная вена), с одновременным уменьшением этого показателя в сосудистых областях, расположенных ниже уровня сердца, что приводит к снижению градиента венозного давления.

Предполагается, что в начальной фазе невесомости в областях тела, расположенных ниже уровня сердца, преобладает переход жидкости из межклеточного пространства во внутрисосудистое и перемещение части крови в верхнюю часть тела. Это приводит, по-видимому, к увеличению центрального объема крови, растяжению и стимуляции механорецепторов предсердий, сосудов сердечно-легочной и, возможно, других систем, что обусловливает включение нервно-рефлекторных и гуморальных механизмов, направленных на сохранение гемодинамического и водно-солевого гомеостаза. Возникающие при этом срочные приспособительные реакции связаны с торможением секреции антидиуретического гормона гипофиза и, возможно, с уменьшением активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, а также с торможением вазомоторного центра. Они проявляются частичной потерей жидкости и, для сохранения осмотического равновесия, электролитов; уменьшением объема плазмы крови; рефлекторным сужением легочных сосудов; расширением сосудов большого круга кровообращения; депонированием крови во внутренних органах и ограничением ее поступления в сердечно-легочную область.

В более отдаленном периоде (дни, недели) развиваются отставленные приспособительные реакции. Они связаны с предшествующим уменьшением объема плазмы и объема циркулирующей крови, что стимулирует активность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, снижает общий объем массы эритроцитов и гемоглобина и способствует дальнейшему уменьшению объема циркулирующей крови.

Длительное увеличение кровенаполнения областей, расположенных выше уровня сердца, и снижение нагрузки на нижележащие сосуды, происходящие на фоне снижения активности приспособительных механизмов, противодействующих в условиях Земли влиянию гидростатического давления, при отсутствии соответствующих тренировок сосудистого русла могут способствовать развитию детренированности механизмов регуляции тонуса сосудов и затруднять включение приспособительных реакций при возвращении на Землю.

Реакции, связанные с отсутствием весовой нагрузки на костно-мышечную систему. Снятие весовой нагрузки на опорно-двигательный аппарат, а также снижение мышечных усилий при статической и динамической работе, связанных в условиях Земли с преодолением силы тяжести, обусловливают общую недогрузку мышц и дефицит мышечной активности, а также уменьшение общего объема проприоцептивной импульсации. Это может привести к изменению координации движений и функции нервно-мышечного аппарата, к снижению интенсивности метаболизма, процессов структурно-пластического обмена в костно-мышечной системе и транспортного обеспечения этих функций, а также снизить роль мышечной системы в общей гемодинамике (схема 4). В результате, если не применять профилактические средства, может развиться не только снижение мышечной работоспособности, детренированность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, но и детренированность биологического окисления в целом с разобщением окислительного фосфорилирования, как это следует из проведенного биохимического исследования мышц крыс после их 18—22-суточных полетов на биоспутниках. Это указывает на возможность повышения потребления кислорода и увеличения кислородного долга без адекватного увеличения энергозатрат [см. статью Коваленко Е. А. и Касьяна И. И. в этой монографии].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА В ПОЛЕТЕ

Обобщение результатов медицинских исследований, выполненных в космических полетах, позволило выявить ряд характерных симптомокомплексов, развивающихся в этих условиях в организме человека.

Двигательная сфера. Состояние двигательной функции характеризуется сдвигами в системах управления движениями. Это проявляется изменениями привычных, т. е. выработанных на Земле, программ движений, нарушением координационной структуры моторного акта и снижением его точностных характеристик. В начале полета обычно увеличивается время выполнения некоторых рабочих операций и затрудняется оценка требуемых для этого мышечных усилий. Однако уже через несколько суток полета устанавливается новый стереотип движений — они вновь обретают точность, уменьшаются усилия для их выполнения и координация восстанавливается. В невесомости происходит также изменение характера двигательной активности в целом: человек не ходит, а «плавает» в космическом корабле.

Недогрузка мышечной системы, в первую очередь тонических мышц, организующих и поддерживающих тело человека в

Схема 4

Гипотетические механизмы изменений некоторых функций организма в невесомости под влиянием снятия весовой нагрузки на костно-мышечную систему

Невесомость

Мышечная система
Уменьшение мышечных усилий и позотонической активности при статической и динамической работе, связанной в условиях Земли с преодолением силы тяжести; общий дефицит мышечной нагрузки

Костная система
Снятие весовой и уменьшение мышечной нагрузки

Проприоцепторы
Уменьшение импульсации

Биоэнергетика мышечной ткани
Снижение интенсивности метаболизма и процессов структурно-пластического обмена

Периферическое мышечное сердце и венозная помпа
Снижение активности

Поверхность раздела коллаген-гидроксилапатит
Уменьшение пьезоэлектрической активности

Координация движения
Первоначальное нарушение с последующей выработкой нового стереотипа*

Мышечные волокна
Детренированность и изменение структуры

Гемодинамика
Снижение эффективности передвижения крови из артерий через капилляры в вены*

Костная ткань
Нарушение саморегуляции и питания, деминерализация

Работоспособность
Уменьшение массы и силы мышц, снижение мышечной работоспособности*

Сердце
Увеличение нагрузки по передвижению крови

Жидкие среды
Увеличение содержания кальция в крови и повышение его экскреции с мочой

определенной позе, приводит к развитию их частичной атрофии или субатрофии, потере мышечной массы (преимущественно за счет мышц нижних конечностей и спины) и повышению белкового катаболизма, что, по-видимому, способствует выходу калия из мышечных клеток в кровь. При послеполетном обследовании космонавтов выявлены атония задней группы мышц голени, снижение силовых характеристик мышц голени, а также снижение порогов виброчувствительности опорных зон стопы и сухожильного Т-рефлекса икроножной мышцы [Козловская И. Б. и др., 1981].

Основные причины этих изменений в невесомости — снятие статической нагрузки на большую группу мышц, обеспечивающих сохранение позы и формирование тонического компонента движений, и изменение афферентации от гравирецепторов мышц, сухожилий, капсул суставов и кожи.

Сердечно-сосудистая система. Развивающиеся в условиях космического полета в покое и при функциональных нагрузках изменения сердечной деятельности, системного и регионарного кровообращения свидетельствуют об изменении гемодинамического статуса организма человека, связанного, как мы уже говорили, со снятием гидростатического давления жидких сред. При этом на протяжении первого месяца полета прослеживается процесс формирования приспособительных реакций и переход на новый уровень функционирования сердца и кровообращения в целом. В дальнейшем наблюдается относительная стабилизация показателей сердечно-сосудистой системы в покое и ее реакций на воздействие функциональных проб, таких как дозированная физическая нагрузка (ДФН) и отрицательное давление (ОДНТ).

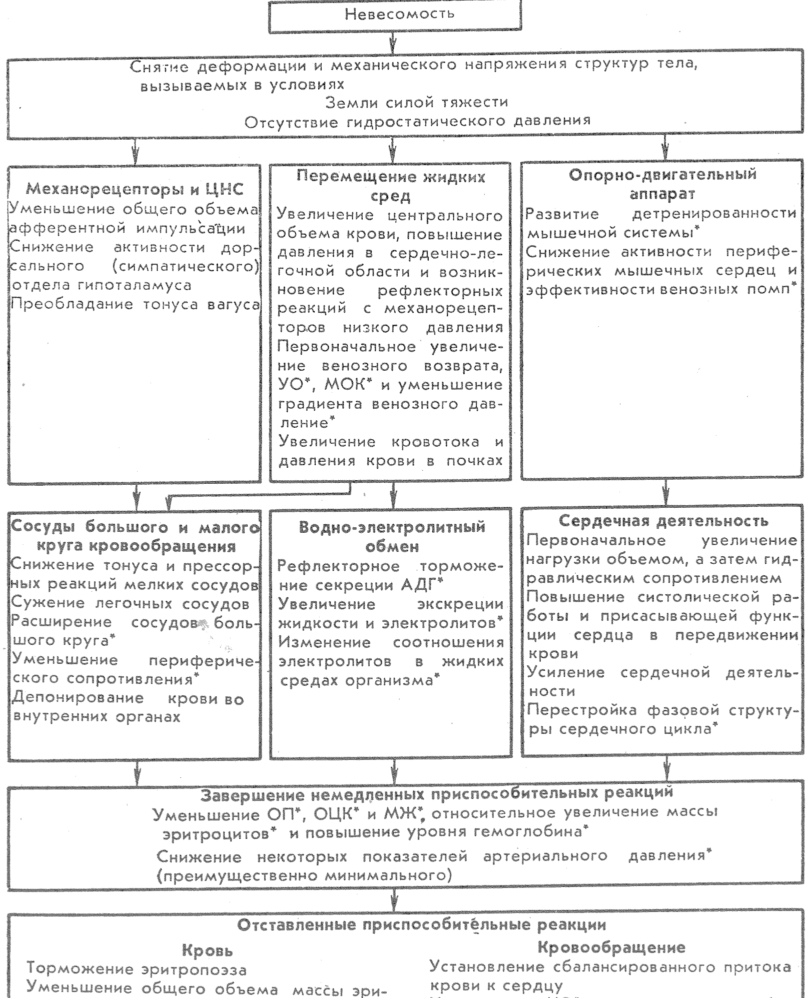
На фоне изменений гемодинамики и уменьшения мышечных нагрузок во время длительных полетов развивается детренированность сердечно-сосудистой системы, проявляющаяся в ряде случаев в полете и наиболее выраженно в послеполетном периоде снижением переносимости физических и ортостатических нагрузок.

Основными факторами, играющими, по-видимому, ведущую роль в изменении кровообращения в условиях невесомости в целом и сердечной деятельности в частности, являются: перемещение жидких сред организма в краниальном направлении, вызывающие включения нервно-рефлекторных и гуморальных механизмов, направленных на сохранение гемодинамического гомеостаза и обеспечение более адекватных условий для кровообращения в области грудной клетки и головы; уменьшение роли мышечной системы, вследствие ее недогрузки и развития детренированности, в движении крови и ее венозном возврате (схема 5).

В статьях следующего раздела описаны результаты многолетних исследований сердечно-сосудистой системы космонавтов в полете и в период реадаптации, а также изменения, наблюдае-

Схема 5

Возможные механизмы изменения сердечно-сосудистой системы в невесомости



мые при функциональных пробах. Поэтому мы ограничимся приведенной схемой.

Водно-солевой обмен и его регуляция. Изменения водно-солевого обмена в полете выражаются общей потерей жидкости (1-я неделя полета), повышением экскреции с мочой калия, натрия [Leach C. S., Rambaut P. C., 1977]. Минералокортикоидная функция коры надпочечников, по данным исследования на 216—219-е сутки во время 8-месячного полета по программе «Салют-7», характеризовалась активацией [Носков В. Б. и др., 1986]. Это проявлялось увеличением у обоих космонавтов экскреции почками альдостерона и повышением его синтеза в организме, что подтверждается уменьшением выведения с мочой 11-дезоксикортикостерона, являющегося предшественником альдостерона, и увеличением концентрации ренина в плазме крови, стимулирующего синтез альдостерона. Степень увеличения экскреции и, стало быть, продукции этого гормона прямо зависела от уровня индивидуального потребления солей. Повышение экскреции альдостерона наблюдалось также во время полетов по программе «Скайлэб» длительностью до 84 сут [Leach C. S., Rambaut P. C., 1977].

Экскреция почками антидиуретического гормона (АДГ) на 216—219-е сутки полета увеличивалась с одновременной тенденцией уменьшения его содержания в крови. В отличие от этих данных концентрация АДГ в моче на 43—45-е и 86—88-е сутки во время пятимесячного полета на орбитальном комплексе «Салют-7» — «Союз-Т» уменьшалась. В полетах по программе «Скайлэб» длительностью до 84 сут также наблюдалась тенденция к снижению экскреции АДГ [Leach C. S., Rambaut P. C., 1977]. Повышение экскреции почками АДГ при увеличении продолжительности полета может быть связано с уменьшением чувствительности почек к этому гормону, что было показано в модельных исследованиях с гипокинезией при введении обследуемым экзогенного препарата АДГ [Носков В. Б. и др., 1986].

При детальном исследовании водно-солевого обмена и функции почек после 175—185-суточных полетов, выполненных по программе «Салют-6» — «Союз», обычно выявлялись задержка жидкости в организме, уменьшение экскреции с мочой натрия и увеличение экскреции калия, кальция, альдостерона и АДГ, а также рассогласование в системе ионорегуляции в виде разнонаправленного изменения экскреции жидкости и некоторых ионов при нагрузочных водно-солевых пробах [Воробьев Е. И. и др., 1984; Газенко О. Г., Григорьев А. И., Наточин Ю. В., 1986].

Изменение водно-солевого обмена, по-видимому, отражает процесс приспособления организма к перемещению жидких сред в краниальном направлении, что воспринимается организмом как увеличение объема кровообращения. Возникающие при этом рефлекторные реакции активируют, по данным исследований в полетах, гормональные механизмы, регулирующие водно-солевой гомеостаз (увеличение содержания в плазме крови ангиотензина и усиление экскреции почками альдостерона с тенденцией к

уменьшению уровня АДГ), что приводит к частичной потере организмом жидкости, некоторых электролитов, а также к отрицательному балансу калия и кальция. В результате этого уменьшается масса тела и объем нижних конечностей, снижается объем плазмы крови и межклеточной жидкости [Бурназян А. И., Газенко О. Г., 1983; Газенко О. Г., Григорьев А. И., Наточин Ю. В., 1986; Johnson P. C., Driscoll T. B., Le-Blanke A. D., 1977]. Увеличение экскреции почками натрия (на фоне увеличения экскреции альдостерона) может быть связано с другими механизмами его регуляции, в частности с предполагаемым повышением продукции натрийуретического фактора и, возможно, простагландинов, некоторые из которых повышают экскрецию почками натрия и жидкости. Вместе с тем нельзя исключить и приспособительного характера подобной реакции, направленной на поддержание на константном уровне в крови соотношения натрия и калия на фоне усиленной экскреции последнего.

Изменение калиевого метаболизма характеризовалось повышением экскреции этого иона и его отрицательным балансом как во время кратковременных и длительных полетов, так и после них [Газенко О. Г., Григорьев А. И., Наточин Ю. В., 1986; Leach C. S., Rambaut P. C., 1977]. Этот феномен после полетов наблюдался не только при спонтанном диурезе, но при нагрузочных пробах с хлоридом калия, лактатом кальция и водной нагрузкой. Общее содержание обмениваемого калия в организме также уменьшалось [Leach C. S., Johnson P. C., Alexander W. C., 1975].

Отрицательный баланс калия в невесомости вполне согласуется с увеличением активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Однако он может быть также связан с развитием детренированности мышечной системы и уменьшением ее калий-депонирующих возможностей (см. также раздел «Водно-солевой гомеостаз и его регуляция» в настоящей монографии).

Кальциевый метаболизм и костная ткань. Изменения кальциевого метаболизма и состояния костной ткани в полете характеризовались развитием явлений остеопороза, повышением уровня содержания в плазме крови кальция и фосфора и их экскреции почками во время и после полета [Григорьев А. И., Дорохова Б. Р., Арзамазов Г. С., Маруков Б. М., 1982; Воробьев Е. И. и др., 1985; Leach C. S., Rambaut P. C., 1977; Whedon G. D., Lutwak L. L., Smith P. C. et al., 1977]. В крови в условиях полетов отмечалось некоторое повышение содержания гормонов паращитовидных желез, участвующих в регуляции обмена фосфора и кальция (паратгормона), а выведение гидроксипролина и азота с мочой увеличивалось.

Изменение состояния костной ткани в невесомости может быть связано с уменьшением нагрузки на скелет, с модификацией поля сил деформации, изменением со стороны сосудов и кровотока, а также с изменением протекания метаболических процессов в кости. Предполагается, что снятие весовой и снижение

мышечной нагрузки на костную систему в невесомости вызывает уменьшение деформации костной ткани, что сопровождается снижением пьезоэлектрического эффекта на поверхности раздела коллаген—гидроксилапатит [Бессет А., 1967]. В результате изменяются перемещение ионов и заряженных молекул, а также процессы саморегуляции и питания костной ткани. Эти изменения, в сочетании с предполагаемым уменьшением секреции гормона роста передней доли гипофиза (соматотропина), тироксина и кальцитонина и выявленной в полете тенденцией увеличения содержания в крови паратгормона, способствуют повышению функции остеокластов и уменьшению активности остеобластов, что тормозит синтетические процессы в костной ткани и усиливает ее резорбцию, а также вызывает высвобождение ионов кальция и фосфора из депо, увеличивает их содержание в крови и усиливает их экскрецию с мочой. В итоге развивается деминерализация костной ткани. Следует заметить, что пока даже в самых длительных полетах потеря содержания кальция у человека, а следовательно, и изменение прочности скелета не имели угрожающего характера. Однако эти явления, если не разрабатывать соответствующие профилактические меры, могут оказаться препятствием для дальнейшего увеличения продолжительности космических полетов человека.

Возникновение функциональной анемии. Синдром функциональной анемии, развивающийся в длительных полетах, проявляется уменьшением объема плазмы крови, массы эритроцитов и уровня гемоглобина, эритропоэтинов, числа эритроцитов в периферической крови, уменьшением их размера, увеличением в некоторых случаях числа эритроцитов, сферических и куполообразных форм, а также эритроцитов с небольшим значением массы и фракции с большей величиной электрического заряда [Балаховский И. С., Легеньков В. И., Киселев Р. К., 1980; Kimzey S. L., 1977; Johnson P. C., Driscoll T. B., Le-Blance A. D., 1977]. Уменьшение числа эритроцитов и содержания гемоглобина в единице объема, а также нарастание ретикулоцитоза достигает максимальной выраженности на 2—3-й неделе после полета. Уровень эритропоэтинов в плазме крови и моче на 7—10-е сутки после полета возрастает в несколько раз. Можно полагать, что развивающаяся в полете потеря жидкости организмом, уменьшение объема плазмы и связанное с ним относительное увеличение массы эритроцитов, снижение физической нагрузки, а также предполагаемое падение активности дорсального отдела гипоталамуса тормозят эритропоэз.

В послеполетный период происходит быстрое восстановление плазмы крови, что приводит к еще большему уменьшению содержания эритроцитов и гемоглобина в единице объема крови. В дальнейшем, в течение 1,5—2 мес, наблюдается постепенное восстановление показателей красной крови до нормы.

Таким образом, результаты гематологических исследований, выполненных во время длительных космических полетов и после

них, позволяют оптимистически оценивать возможность приспособления системы крови к условиям длительного космического полета и ее восстановления в послеполетном периоде.

Изменение иммунологической реактивности. После длительных полетов происходят закономерные изменения иммунологических показателей [Константинова И. В. и др., 1985]. Они проявляются уменьшением содержания в крови Т-лимфоцитов, их реактивности и способности к пролиферации. Одновременно уменьшается активность Т—Т-хелперов и натуральных киллеров при неизменной супрессорной активности. Уровень иммуноглобулинов классов IgA, IgL, IgM в сыворотке крови существенно не изменялся.

Наряду со снижением под влиянием космического полета некоторых показателей естественного иммунитета наблюдалось увеличение микробной обсемененности кожных покровов и слизистых оболочек, развитие дисбактериозных сдвигов, повышение устойчивости ряда микроорганизмов к антибиотикам и появление у некоторых микроорганизмов признаков патогенности [Воробьев Е. И. и др., 1984]. Сдвиги в биоценозе человек—микроорганизм не имеют четкой зависимости от длительности полета и определяются главным образом объемом профилактических мероприятий, особенностями питания, индивидуальными свойствами организма человека и изменчивостью самих микробов.

Значение выявленных изменений иммунологической реактивности организма человека состоит в том, что они могут способствовать повышению вероятности развития аутоиммунных заболеваний, а также заболеваний бактериальной, вирусной и аллергической природы, что необходимо учитывать при планировании и медицинском обеспечении длительных космических полетов.

КОСМИЧЕСКАЯ ФОРМА БОЛЕЗНИ ДВИЖЕНИЯ

Развитие симптомов болезни движения в полете наблюдается в той или иной степени выраженности примерно у 50% космонавтов. Эти симптомы обычно сглаживаются или исчезают в первые 6 сут полета. У некоторых космонавтов признаки космической болезни движения (КБД) появляются также и в 1-е сутки после возвращения на Землю. Важно отметить, что в настоящее время пока еще невозможно достоверно предсказать степень выраженности симптомов болезни движения у космонавтов в полете.

До настоящего времени нет твердо установленного механизма возникновения космической болезни. Различные точки зрения на этот вопрос освещены в статье «Космическая болезнь», мы же остановимся на некоторых вопросах, имеющих, на наш взгляд, наиболее важное значение.

Исследования, выполненные в полете. В первые дни пребывания в невесомости (2-е и 5-е сутки) выявлено существенное изменение вестибулярной функции [Корнилова Л. И. и др., 1985]. Эти изменения в условиях покоя проявлялись: дестабилизацией окуломоторной функции (спонтанный нистагм, повышение глазодвигательной активности саккадического и плавного характера); торможением следящей функции глаз при воздействии оптокинетических стимулов (движение мишени на экране в различных направлениях) и появлением при плавном слежении дополнительных саккадических движений с переходом в нистагмоподобные реакции; снижением порогов оптокинетического нистагма; уменьшением при адекватной вестибулярной стимуляции при закрытых глазах скорости и амплитуды компенсаторного движения глазных яблок и появлением нистагмоподобных реакций, а при открытых глазах (без фиксации взора) выраженной дестабилизацией движения глазных яблок.

У приматов в условиях невесомости также наблюдалось появление нистагма при минимальной скорости движения головы и изменялись параметры реакции установки взора (РУВ) на точечный объект, случайно попадающий в периферическое поле зрения: существенно возрастало время и число ошибок при установке взора, уменьшались скорость и амплитуда движений головы и коэффициент вестибулоокуломоторной реакции [Козловская И. Б. и др., 1986; Сирота М. Г. и др., 1986].

$$К_{вор} = \frac{V_{гол}}{V_{глаз}}.$$

Таким образом, выявленные изменения вестибулярной функции, вестибулоокуломоторного взаимодействия и снижение порогов нистагма указывают на повышение динамической возбудимости системы каналов, а имевшее место торможение следящей функции в покое может расцениваться как признак уменьшения статической возбудимости [Корнилова Л. Н. и др., 1985; Козловская И. Б. и др., 1986] (см. также статью в разделе V).

Механизмы возникновения КБД. В самом общем виде возникновение симптомов КБД может быть связано с изменением возбудимости рецепторов лабиринта и с нарушением функциональной системности в деятельности анализаторов, осуществляющих пространственную ориентацию [Комендантов Г. Л., Копанев В. И., 1962], что проявляется возникновением сенсорных конфликтов в виде поступления из различных рецепторных образований информации, не соответствующей сформировавшемуся ранее, на основе предыдущего жизненного опыта, интегральному чувственному образу, отображающему определенное положение и перемещение тела в пространстве [Keason J. T., Brand J. J., 1975]. Эти конфликты могут возникать между различными рецепторными группами в пределах вестибулярного аппарата, при взаимодействии зрительной и каналоотолитовой систем, а также зрительной системы и нелабиринтных механорецепторов [Егоров А. Д., Юганов Е. М., 1985]. Кроме того, изменяется также соотношение импульсации с различных рецепторов сосудистых областей вслед-

ствие перераспределения крови; снижаются афферентные влияния с сосудов нижней части тела и усиливаются с сосудистых областей верхних частей тела и окружающих их тканей, растянутых повышенным содержанием межклеточной жидкости (табл. 1).

В настоящее время наиболее важное значение придается зрительно-вестибулярному и каналоотолитовому конфликтам, возможность возникновения которых на фоне повышения динамической возбудимости системы каналов и снижения отолитовой афферентации в первые дни пребывания в невесомости показана в описанных выше исследованиях.

Важное значение в развитии КБД имеет реинтерпретация головным мозгом сигналов, поступающих с отолитов. В условиях Земли при изменении положения головы соответственно изменяется импульсация с отолитов. В состоянии невесомости с рецепторов отолитового аппарата не поступает информация о положении головы в пространстве [Егоров А. Д., Юганов Е. М., 1985; Parker D. E. et al., 1985]. В этих условиях любое движение головы воспринимается как линейное и перестройка восприятия мозгом сигналов с отолитов у чувствительных субъектов сопровождается развитием симптомов КБД [Parker D. E. et al., 1985]. Приведенная концепция также может рассматриваться как сложный сенсорный конфликт, включающий изменения (по отношению к условиям Земли) межотолитового взаимодействия, а также взаимодействия отолитовой афферентации с сигналами, поступающими с проприоцепторов мышц шеи и зрительного аппарата при изменении положения головы.

Механизмы адаптации вестибулярной системы к невесомости. Исчезновение симптомов КБД, восстановление, по данным регистрации отдельных волокон вестибулярного нерва лягушки, первоначально резко сниженной отолитовой афферентации к 5-м суткам полета [Gualtierotti T. et al., 1972] и снижение чувствительности (при исследовании на 8-е сутки полета и в более поздние сроки) системы полукружных каналов к адекватному раздражителю [Graybiel A. et al., 1977] являются проявлением адаптации вестибулярного аппарата и других сенсорных систем к условиям невесомости.

В реализации срочной адаптации, применительно к компенсации вестибулярной дисфункции в условиях невесомости, можно выделить два механизма: поведенческий и нейрофизиологический [Корнилова Л. Н. и др., 1985; Козловская И. Б. и др., 1986]. Поведенческий механизм у человека и приматов проявляется в условиях невесомости резким снижением скорости и амплитуды движений головы, что подтверждается результатами исследований в полетах.

Регистрация с помощью акселерометров двигательной активности у четырех астронавтов во время полетов «Спейслэб-1» и «Спейслэб-Д-4» выявила ограничение движений головы. По мере адаптации наблюдались увеличение ускорений и разнообразия указанных движений [Oman C. M., 1986]. При этом было пока-

Таблица 1

Гипотетические сенсорные конфликты в состоянии невесомости

На Земле (норма)	В невесомости (сенсорный конфликт)
Межотолитовые взаимодействия	
При изменении положения головы меняется соответственно импульсация с отолитов	При изменении положения головы импульсация с отолитов (кроме периода движения) не меняется
Каналоотолитовые взаимодействия	
При вращательных движениях возникают сигналы в рецепторах каналов на фоне постоянно воздействующей импульсации с отолитов	При вращательных движениях головой возникают сигналы в рецепторах каналов на фоне резко уменьшенной (до спонтанного уровня) импульсации с отолитов
Асимметрия вестибулярного аппарата	
Существующие врожденные асимметрии вестибулярного аппарата (в том числе вследствие разницы в массе отолитов левой и правой сторон) стойко компенсированы выработанной в процессе онтогенеза устойчивой функциональной системностью анализаторов	Изменение взаимодействия анализаторов вызывает декомпенсацию и проявление асимметрии вестибулярного аппарата
Взаимодействие зрительной и каналоотолитовой систем	
Обе системы сигнализируют о положении тела относительно пространственных координат	Зрительная система адекватно сигнализирует о положении тела относительно пространственных координат, а сигнализация с каналоотолитовой системы изменена и не согласуется с показаниями зрительной системы
Взаимодействие зрительной системы и нелабиринтных механорецепторов, воспринимающих силу тяжести	
Зрительная система, проприоцепторы, механорецепторы внутренних органов и кожных покровов адекватно сигнализируют о положении тела относительно пространственных координат	Зрительная система адекватно сигнализирует о положнии тела относительно пространственных координат, а сигнализация с механорецепторов не отражает фактического положения тела в пространстве
Соотношение импульсации с рецепторов различных сосудистых областей	
Преобладают афферентные влияния с сосудистых областей и окружающих их тканей, расположенных ниже уровня сердца, что обусловлено гидростатическим давлением крови	Преобладают афферентные влияния с сосудистых областей и окружающих их тканей, расположенных выше уровня сердца, что обусловлено перемещением жидких сред организма в краниальном направлении

зано, что хотя все движения субъективно провоцировали симптомы КБД, однако большую значимость имели качательные (pitch) и вращательные движения, особенно с открытыми глазами. У обезьян также наблюдалось резкое ограничение в начале полета двигательной активности, в том числе движений головы. У них через 2 ч после старта значительно увеличивалось время (до 1,5 ч) выполнения выработанных до полета 256 условнорефлекторных комплексов, связанных главным образом с быстрой установкой взора на предъявляемых мишенях. Тем не менее все комплексы были выполнены полностью и безошибочно, а к 7-м суткам полета время их выполнения возвращалось к предполетным величинам [Сирота М. Г. и др., 1986]. Одним из признаков образования поведенческого механизма является также временный отказ или частичное избирательное ограничение приема пищи и воды.

Механизмы нейрофизиологической адаптации в условиях невесомости направлены на восстановление адекватного соотношения афферентной импульсации, поступающей в ЦНС с вестибулярной и других сенсорных систем. Исходя из известных в настоящее время морфологических связей и физиологических механизмов регуляции вестибулярной функции можно полагать, что увеличение потока афферентации от вестибулярного аппарата при движениях в невесомости (вследствие повышения динамической возбудимости системы каналов) будет способствовать усилению тормозных влияний клеток Пуркинье, мозжечка, а также определенных клеток вестибулярных ядер на рецепторный аппарат лабиринта. Эти влияния, по-видимому, ограничивают в определенной мере поступление вестибулярной импульсации в ЦНС. Уменьшение коэффициента вестибулоокуломоторной реакции косвенно указывает на увеличение тормозных влияний клеток Пуркинье на функцию проведения в дуге этого рефлекса [Козловская И. Б. и др., 1986]. Одновременно с адаптацией в вестибулярной системе развиваются приспособительные процессы в других сенсорных системах, направленные на установление адекватного соотношения афферентаций, предполагаемый механизм изменения которых рассмотрен ранее.

Важное значение в развитии КБД и последующих приспособительных реакций, устраняющих это состояние, вероятно, имеют особенности формирования функциональной системы [Анохин П. К., 1975] адаптации вестибулярного аппарата и взаимодействующих с ним сенсорных систем в условиях космического полета (табл. 2).

В состоянии невесомости вследствие изменения характера афферентации и возникновения сенсорных конфликтов уже на стадии афферентного синтеза в ЦНС поступает необычная обстановочная афферентация, характеризующая реальную внешнюю и внутреннюю среду существования организма, которая не запечатлена механизмами памяти в процессе фило- и онтогенеза. Уникальность ситуации, о которой сигнализирует обстановочная

Таблица 2

Концептуальная модель формирования функциональной системы адаптации вестибулярного аппарата и взаимодействующих с ним сенсорных систем к состоянию невесомости и купирования КБД

Общие закономерности формирования функциональных систем на Земле	Формирование функциональной системы адаптации вестибулярного аппарата и взаимодействующих с ним сенсорных систем в невесомости
Стадия афферентного синтеза	
Сопоставление, отбор и синтез в ЦНС многочисленных афферентаций, поступающих из внешней и внутренней среды (доминирующая мотивация, обстановочная афферентация о реальной ситуации существования организма, пусковая афферентация, механизмы памяти)	Нарушение взаимодействия афферентных систем и возникновение сенсорных конфликтов приводят к поступлению в ЦНС обстановочной афферентации, характеризующей необычную реальную внешнюю и внутреннюю среду организма, которая не запечатлена механизмами памяти в процессе фило- и онтогенезе
Стадия принятия решения	
Блокирование включенных в центральный аппарат функциональной системы многообразных функциональных связей нейронов, не направленных на достижение необходимой цели Формирование программы действия и аппарата оценки результатов (акцептор)	Затруднение формирования целесообразной программы действия («уникальность ситуации», о которой сигнализирует обстановочная афферентация, и отсутствие модели этой ситуации в «памяти»), направленной на адаптацию вестибулярного аппарата и других афферентных систем к невесомости
Стадия эфферентного синтеза	
Формирование интеграла эфферентных возбуждений, обеспечивающих периферическое действие Включение локомоторных и вегетативных компонентов под влиянием эфферентных команд, определенных программой действия	В «уникальной ситуации» организм будет располагать не обязательно оптимальной степенью свободы, что может привести к реализации адекватного или неадекватного приспособительного результата
Результаты действия (обратная афферентация)	
Обратная афферентация о результатах действия поступает в ЦНС к акцептору результата и сопоставляется с прогнозом. При совпадении результатов и прогноза деятельность завершается. При возникновении рассогласования структура функциональной системы изменяется и в конечном итоге достигается полезный для организма результат (саморегулирующая система)	При неадекватности полученного результата в создавшейся ситуации организму понадобится определенное время для приобретения индивидуального опыта, поиска и выбора оптимальной формы полезного приспособительного результата, обеспечивающего формирование новой функциональной системы компенсации проявлений КБД

афферентация, и отсутствие модели этой ситуации в «памяти» затрудняют формирование программы действия и избирательную блокаду функциональных связей нейронов. Все это может привести к поиску оптимального решения путем реализации цепи результатов, что потребует определенного времени для приспособления к реальной ситуации и сглаживания возникших симптомов КБД. В течение этого времени у восприимчивых индивидуумов проявляются различной степени выраженности симптомы КБД. Выявленное уменьшение чувствительности к развитию КБД при повторных полетах указывает, что во время космических полетов происходит, по-видимому, формирование долговременных адаптационных реакций на основе образования системного структурного следа [Меерсон Ф. З.,1981].

ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Профилактические средства, направленные на предупреждение или частичную компенсацию неблагоприятных сдвигов, обусловленных влиянием невесомости, играют важную роль в поддержании работоспособности космонавтов в полете и их безопасном возвращении на Землю. По сути своего воздействия применяемая в настоящее время профилактика, как это ни парадоксально, препятствует адаптации организма человека к невесомости и направлена в первую очередь на облегчение реадаптации космонавтов при возвращении на Землю, восполнение дефицита мышечной активности и воспроизведение эффектов, которые в условиях Земли обусловливаются массой крови и тканевой жидкости. Исследования, проведенные в модельных условиях и во время длительных космических полетов, показали, что для достаточной компенсации и предотвращения физиологических сдвигов, возникающих под влиянием невесомости и других факторов полета, могут быть применены следующие методы:

— физические методы, направленные на уменьшение перераспределения крови в невесомости и в периоде реадаптации к земной гравитации, а также на стимуляцию нервно-рефлекторных механизмов, регулирующих кровообращение при вертикальном положении тела (отрицательное давление на нижнюю часть тела; эластичные и противоперегрузочные костюмы; электростимуляция мышц и т. д.);

— физические нагрузки, направленные на поддержание тренированности наиболее важных систем организма, активацию «венозных помп» и «периферических мышечных сердец» и стимуляцию некоторых групп рецепторов (физические упражнения, нагрузочные костюмы, нагрузка на скелет);

— целенаправленное воздействие с помощью медикаментозных средств;

— воздействия, связанные с регуляцией питания (добавление в пищу солей, аминокислот и витаминов, нормирование питания и водопотребления) и содержания жидкости в организме (водно-солевые добавки);

— оптимизация среды обитания, режима труда и отдыха и средств психологической поддержки.

Не исключено, что в будущих длительных космических полетах одним из эффективных средств поддержания оптимального функционального состояния организма человека будет искусственная сила тяжести (ИСТ). Можно полагать, что ее воздействие на различные системы организма человека в условиях невесомости будет неоднозначным. Вероятно, ИСТ будет способствовать предотвращению нарушений со стороны сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата. Об этом свидетельствуют результаты экспериментов, проведенных на крысах на биоспутнике «Космос-936». При этом было показано, что создание ИСТ величиной 1g в течение всего полета (18,5 сут) путем постоянного вращения животных на бортовой центрифуге предотвращало возникновение в космическом полете таких неблагоприятных изменений, как снижение АТФазной активности миозина миокарда, нарушение водно-солевого обмена, ухудшение сократительных свойств и изменение метаболизма скелетной мускулатуры, снижение механической прочности костей конечностей, изменение состояния эндокринных органов и т. п. [Ильин Е. А., 1984]. Вполне естественно, что исследования в этом направлении будут продолжены и в будущем.

Следует, однако, иметь в виду, что создание и применение ИСТ может привести к возникновению ряда физиологических проблем, связанных с пребыванием человека во вращающейся системе. В этом случае теоретически можно ожидать возникновение неблагоприятных изменений ряда функций организма, связанных с вестибулярной системой и ее взаимодействием с другими сенсорными системами (возникновение сенсорных конфликтов, затруднение в ориентации и выполнении локомоций и т. д.).

В упомянутом выше эксперименте с созданием ИСТ на биоспутнике «Космос-936» у крыс было выявлено большее, чем в невесомости, снижение функций высших отделов ЦНС, угнетение в головном мозге белкового метаболизма (особенно в отделах, связанных с осуществлением двигательной активности), снижение чувствительности и реактивности системы полукружных каналов. Эти нежелательные проявления, возможно, были связаны со сравнительно небольшим радиусом бортовой центрифуги, что приводило к возникновению прецессионных и кориолисовых ускорений [Ильин Е. А., 1984].

Весьма важным является вопрос о выборе режима (постоянного или прерывистого) использования ИСТ. В частности, в случае использования прерывистого режима нельзя исключить возможности возникновения нежелательных эффектов каждый раз, когда будет возобновляться воздействие ИСТ.

Наиболее важное значение использование ИСТ будет, вероятно, иметь при создании космических поселений. В настоящее время имеются данные о том, что животные второго поколения, родившиеся и выросшие в космическом пространстве, вероятно,

будут иметь ограниченные возможности к адаптации при возвращении на Землю [Lichtenberg B. K., 1986]. Это предположение основывается на результатах модельных экспериментов на животных, в ходе которых у кошек отмечалось изменение корковых структур с появлением «функциональной слепоты», что указывает на выраженную зависимость начального развития ЦНС от постоянной достаточно сильной стимуляции всех сенсорных систем.

Таким образом, проблема, связанная с использованием ИСТ в качестве средства предупреждения неблагоприятных эффектов невесомости, остается открытой и для ее решения необходимо проведение дальнейших исследований.

* *
*

Общие итоги. Результаты медицинских исследований, выполненных в длительных полетах, показали, что человек достаточно хорошо приспосабливается и эффективно работает в условиях невесомости до одного года. Начальные проявления воздействия невесомости характеризовались развитием у некоторых космонавтов кратковременных пространственных иллюзий, закономерным проявлением ощущений прилива крови к голове и нарушением координации движений. В ряде случаев имели место более или менее выраженные симптомы КБД. Все эти явления различной степени выраженности и продолжительности обычно сглаживались или полностью исчезали на 1-й неделе полета. В более поздние сроки пребывания в невесомости закономерно развивались симптомокомплексы изменений со стороны опорно-двигательного аппарата и мышц, сердечно-сосудистой системы, обмена веществ (включая водно-солевой обмен), функции эндокринных органов, систем крови и иммунитета и др.

Наблюдавшиеся изменения различных систем организма во время и после полета носили приспособительный характер, соответствовали воздействующим факторам, не влияли на выполнение программы полета, были обратимыми (восстанавливались через некоторое время после окончания полета) и существенно не зависели от длительности пребывания в невесомости. Реакция в послеполетном периоде в значительной степени определялась объемом выполнения профилактических мероприятий.

Реакции адаптации. В условиях невесомости устанавливается иное, по сравнению с Землей, распределение функциональных нагрузок на физиологические системы организма, что приводит к изменению афферентного входа, снятию гидростатического давления крови и весовой нагрузки на костно-мышечную систему. Возникающие при этом в организме человека функциональные сдвиги сопровождаются закономерным развитием приспособительных реакций, которые, как и при других биологически значимых воздействиях, могут быть срочными и долговременными [Меерсон Ф. З., 1981].

Срочные адаптивные реакции, связанные с изменением в невесомости афферентного входа, направлены на восстановление адекватного соотношения афферентации, поступающей в ЦНС с вестибулярной и других систем. Возрастание динамической возбудимости системы каналов лабиринта вызывает увеличение при движениях потока афферентации с вестибулярного аппарата и стимулирует, по-видимому, тормозные влияния мозжечковых клеток Пуркинье, а также определенных клеток вестибулярных ядер на купулярные рецепторы, что ограничивает поступление с них афферентации. Предполагаемое уменьшение активности ретикулярной формации, приводящее к ослаблению нисходящих тормозных влияний коры и подкорки, способствует увеличению потока афферентации с других сенсорных систем, поддержанию необходимого уровня возбуждения в ЦНС и компенсации дефицита афферентации, прежде всего со стороны проприоцептивной системы.

Возникающие из-за отсутствия гидростатического давления срочные приспособительные реакции проявляются частичной потерей жидкости и электролитов, уменьшением объема плазмы крови, депонированием крови во внутренних органах и ограничением ее поступления в область сердечно-легочной системы. В более отдаленном периоде (дни, недели) развиваются отставленные реакции (уменьшение массы эритроцитов, дальнейшее уменьшение объема циркулирующей крови и т. д.) и устанавливается новый уровень гемодинамического и водно-солевого гомеостаза.

Наряду с увеличением нагрузки на ряд функциональных систем в условиях невесомости отсутствует весовая нагрузка на костно-мышечную систему, уменьшается (по сравнению с Землей) функциональная нагрузка на сосудистую систему, что сопровождается частичной утратой свойств и качеств, приобретенных человеком в процессе индивидуального развития и жизни в условиях воздействия гравитационного поля Земли. Уменьшение функциональной нагрузки, на основе существующей взаимосвязи между функцией и генетическим аппаратом клеток, может привести, по-видимому, к уменьшению синтеза белков в цепи ДНК→РНК→белок, в результате чего в космическом полете возникнет адаптационная перестройка опорных структур или, по терминологии Ф. З. Меерсона (1981), в невесомости развивается деадаптация по отношению к условиям Земли.

Описанное выше состояние, возникающее при длительном снижении в условиях невесомости функциональных нагрузок на ряд систем, проявляется в первую очередь развитием атрофии или субатрофии некоторых групп скелетных мышц, остеопорозом и, по-видимому, уменьшением прочности скелета. По результатам экспериментов на животных, совершивших полеты на биоспутниках, выявлено также изменение метаболизма и структуры мышечных волокон, уменьшение активности костеобразования и усиление резорбции костной ткани [Ильин Е. А., 1984]. Одновременно развивается детренированность механизмов, регулирую-

щих поддержание тела в вертикальной позе и выполнение локомоций в условиях Земли, а также регуляции сосудистого тонуса. Последний момент способствует развитию физической детренированности.

Развивающиеся в начале пребывания в невесомости неблагоприятные сдвиги, в частности появление иллюзий, симптомов КБД и т. д., указывают, что мобилизация механизмов срочной адаптации недостаточна для установления адекватных взаимоотношений организма и измененных физических условий среды. Состояние стабилизации различных функций организма в невесомости на адекватном уровне, вероятно, достигается благодаря включению механизмов долгосрочных приспособительных реакций, одним из проявлений которых является формирование новых или увеличение мощности существующих функциональных систем (по П. К. Анохину) на основе образования структурного следа, являющегося базисом долговременной специфической адаптации [Меерсон Ф. З., 1981]. Последовательное включение срочных и долговременных процессов адаптации обеспечивает установление нового уровня корково-подкорковых взаимоотношений, компенсацию дефицита возбуждения в ЦНС, образование новых устойчивых временных связей в головном мозге, выработку новых рабочих навыков и стереотипа двигательной активности, а также формирование адекватного гомеостаза основных систем организма.

Периодизация процесса адаптации. Сопоставляя процесс развития по времени адаптационных и деадаптационных функциональных и структурных изменений, можно представить последовательность развития приспособительных реакций в невесомости следующим образом.

В первые моменты пребывания человека в условиях невесомости развиваются первичные реакции — пространственные иллюзии, изменение координации движений, развитие симптомов КБД, перераспределение жидких сред организма и др. Возникающие отклонения ряда конечных приспособительных эффектов от константного уровня и развивающийся кратковременный стресс-синдром включают срочные приспособительные реакции. Они проявляются активацией и перестройкой существующих или формированием новых функциональных систем, стимуляцией нервно-рефлекторных и гормональных механизмов, регулирующих водно-солевой и гемодинамический гомеостаз в соответствии с конкретными условиями среды.

Вторая стадия характеризуется формированием разветвленного структурного следа в функциональных системах, которые подвергаются увеличенной функциональной нагрузке, с одновременным развитием процессов деадаптации в недогруженных (по сравнению с условиями Земли) опорных и других структурах. В этой стадии происходит перестройка функций организма и его регуляторных систем с постепенным сглаживанием ранее возникших отклонений (основная фаза адаптации, длительность около

недели) и формированием приспособительных реакций, восстанавливающих в той или иной степени конечные приспособительные эффекты (фаза завершения основных адаптивных реакций, длительность 4—6 нед).

Третья стадия относительной стабилизации реакций организма соответствует сформировавшейся устойчивой долговременной адаптации и характеризуется стабильным уровнем функционирования основных систем организма, который при отсутствии чрезмерных воздействий может сохраняться на протяжении длительного времени.

Реадаптация. Адаптация организма к условиям Земли после длительного пребывания в космическом полете (реадаптация) характеризуется возникновением срочных и развитием долговременных приспособительных реакций, направленных на установление исходного (дополетного) уровня функционирования организма в условиях земной силы тяжести. Развивающиеся при этом структурные системные следы, процессы деадаптации и функциональная перестройка основных систем организма являются в общем зеркальным отображением адаптационных реакций, имевших место в невесомости.

Первичные реакции реадаптации характеризуются развитием неспецифического стресс-синдрома на воздействие земных условий после длительного пребывания в невесомости и явлений, связанных со специфическим влиянием силы тяжести. Стрессорные реакции после космических полетов проявляются активацией глюкокортикоидной функции надпочечников, симпатико-адреналовой системы, а также функции щитовидной железы при неизменной активности гипоталамо-гипофизарной системы.

К числу специфических изменений, обусловленных влиянием силы тяжести, следует отнести: ряд субъективных нарушений (кажущееся увеличение веса тела и предметов, с которыми манипулировали космонавты, слабо выраженные боли в мышцах нижних конечностей и спины, головокружение, а иногда и вестибулярный дискомфорт); нарушения координации движений, регуляции вертикальной позы тела и локомоций; нарушение водно-солевого обмена с отрицательным балансом кальция и калия; явления ортостатической и физической детренированности. Указанные отклонения и развивающийся стресс-синдром включают срочные приспособительные реакции в виде активации или формирования функциональных систем и других механизмов, направленных на устранение описанных нарушений реакций организма в послеполетном периоде и приведение их в соответствие с требованиями земной силой тяжести.

Вторая стадия периода реадаптации характеризуется формированием разветвленного структурного системного следа вследствие увеличения нагрузки на ряд функциональных систем организма, включая опорно-двигательный аппарат и другие структуры организма. В результате возникшие ощущения и сдвиги и неспецифический стресс-синдром постепенно сглаживаются и про-

исходит приспособление организма к земной силе тяжести. Длительность описанной основной фазы реадаптации зависит от многих факторов, в частности от продолжительности полета и объема проводимых профилактических мероприятий. Затем (фаза завершения реадаптации) постепенно происходит завершение формирования долговременных приспособительных реакций организма к земной силе тяжести и волнообразность изменений функций, характерная для предыдущей фазы, сменяется обычным земным стереотипом регулирования.

Третья стадия стабилизации реакций организма характеризуется устойчивой долговременной адаптацией и нормальным (соответствующим предполетному периоду) уровнем функционирования всех систем организма.

Таким образом, в процессе адаптации к невесомости и реадаптации к условиям Земли реализуется последовательное включение и развитие срочных и долговременных приспособительных реакций, сопровождающееся образованием в ряде функциональных систем структурных следов и развитием процессов деадаптации в других системах. Однако до настоящего времени все еще не имеется достоверных данных о времени завершения процесса адаптации к условиям космического полета.

Основные направления физиологических исследований в будущих длительных полетах в самом общем виде могут быть сформулированы следующим образом:

— детальное изучение феноменологии и механизмов изменений основных физиологических функций организма и дифференцирование специфических сдвигов, обусловленных физической природой невесомости, от возникающих при этом приспособительных реакций организма;

— дальнейшая разработка и модернизация принципов, методов и средств, направленных на профилактику нарушений, развивающихся под влиянием факторов полета;

— дальнейшая разработка теории, методов и практическая реализация целенаправленного управления состоянием здоровья и работоспособностью членов экипажей в полете;

— целенаправленное использование невесомости как средства для изучения общебиологических проблем влияния гравитации на живые системы и дифференцирования гравитационно зависимых и независимых физиологических процессов.

Для рационального планирования рабочей деятельности в космических полетах важно определение классов задач, решаемых космонавтами и автоматическими системами управления в полете. Необходимо также проведение широкого комплекса исследований динамики и прогностических критериев физической, интеллектуальной, зрительной и психомоторной работоспособности как на протяжении суток, так и в различные периоды полета, а также условий и признаков развития утомления и способов его профилактики, включая оценку эффективности в этом плане средств психологической поддержки.

Раздел II

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ, ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ДРУГИХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ

Исследованиям сердечно-сосудистой системы у космонавтов с началом освоения космического пространства традиционно отводится заметное место [Пестов И. Д., Гератеволь З., 1975; Воробьев Е. И. и др., 1984]. На протяжении более 25 лет у членов экипажей орбитальных станций и транспортных кораблей выявлен и систематизирован комплекс адаптивных изменений состояния сердца и сосудов, изучение которых в практике космических полетов имеет не только научное, но и важное практическое значение. Однако многие из физиологических методов, применяемых в космической медицине (механография, поликардиография, электрокардиография и др.), уже не в полной мере удовлетворяют практическим запросам, так как не позволяют «заглянуть в глубь» организма, а основаны на сборе физиологических сигналов с поверхности тела. В ряде случаев они связаны с обременительной процедурой снаряжения обследуемого многими датчиками и требуют большого числа каналов передачи информации на Землю, нередко не обеспечивают необходимой точности измерения, например, метод расчета минутного объема кровообращения (МОК) по Бремзеру—Ранке [Попов И. И., Кукушкин Ю. А., 1974] и т. п. Вместе с тем в клинической практике уже в течение ряда лет отмечается бурное развитие и внедрение многообразных ультразвуковых методов исследования, использование которых в значительной степени свободно от указанных недостатков [Мухарлямов Н. М., 1978; Зарецкий В. В. и др., 1979; Мухарлямов Н. М., Беленков Ю. Н., 1981]. Это побудило нас восполнить соответствующий пробел в космической физиологии.

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЦА У КОСМОНАВТОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

В периоде ранней реадаптации (от 0 сут до 2—3 нед восстановительного периода) было обследовано 17 членов экипажей основных экспедиций (ОЭ), совершивших полеты продолжительностью 49—237 сут на орбитальных станциях «Салют».

Таблица 3

Изменения основных показателей центральной гемодинамики на 1-е сутки после космического полета (в процентах к предполетным значениям)

Показатели	Орбитальная станция «Салют-6»										«Салют-7»					Средние значения
Основная экспедиция	ОЭ-5		ОЭ-1		ОЭ-2		ОЭ-3		ОЭ-4		ОЭ-1		ОЭ-3			
Продолжительность полета (сут)	75		96		140		175		185		211		237			
Обследуемый космонавт	1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й	1-й	2-й	1*	2	3	
КСО	—20	+9	—20	—47	—51	—40	—37	—14	—21	—10	0	—11	—28	—36	—20	—23
КДО	—17	—4	—9	—42	—35	—22	—32	—16	—14	—6	—10	—18	—12	—21	—9	—17
УВ	—15	—10	—1	—39	—13	—6	—29	—17	—9	+3	—15	—13	—2	—13	—3	—13
ФВ	+3	—6	+9	+6	+34	+21	+5	0	+7	+2	—4	—2	+11	+11	+6	+7
	0	—8	+9	+20	+30	+37	+1	—7	+13	+13	+9	+8	+6	+13	+6	+18
ДЛП	—3	—7	+9	+20	0	+4	+23	+14	—6	0	—15	0	+3	—7	—7	+2

* Исследование проведено на 2-е сутки.

С помощью традиционного клинического метода одномерной эхокардиографии («М-режим») у космонавтов исследовались кровенаполнение камер сердца и динамика показателей насосной и сократительной функции миокарда, а также состояние аорты и митрального клапана. Измерялись конечно-диастолический и конечно-систолический размеры левого желудочка, диаметр левого предсердия (ДЛП); рассчитывались конечный диастолический и систолический объемы левого желудочка (КДО и КСО), ударный выброс крови (УВ) и фракция выброса (ФВ), скорость циркулярного укорочения волокон миокарда (Vcf), ЧСС, МОК. Исследования проводились на аппаратуре «Эхолайн-20А».

Наблюдения производили в покое, при орто- и антиортостатических пробах (ОП и АОП соответственно), выполнении дозированной физической нагрузки (ДФН) и при создании отрицательного давления вокруг нижней половины тела (ОДНТ).

Исследования в покое. В периоде реадаптации у космонавтов не было выявлено признаков изменений толщины стенок миокарда левого желудочка и межжелудочковой перегородки, нарушения сократительной функции миокарда, а также изменений вида и характера движения клапанов аорты и левого атриовентрикулярного отверстия. Практически во всех случаях движение межжелудочковой перегородки было синергичным по отношению к задней стенке левого желудочка. Лишь у одного из обследуемых с 0 по 3-и сутки реадаптации регистрировалось парадоксальное движение межжелудочковой перегородки (по-видимому, связанное с функциональной перегрузкой правых отделов сердца), к 4—5-м суткам перегородка стала акинетичной.

Начиная с 0 и по 2—3-е сутки отмечалось статистически достоверное уменьшение КДО и КСО левого желудочка и величины УВ крови на фоне значимого увеличения ЧСС и одного из показателей сократимости левого желудочка — Vcf. У 3 космонавтов после 96-, 140- и 175-суточных полетов наблюдали отчетливые индивидуальные колебания параметров центральной гемодинамики, существенное снижение КДО, КСО левого желудочка и увеличение ДЛП. Вместе с тем прямой зависимости между длительностью полета и выраженностью изменений эхокардиографических показателей не наблюдалось.

С 4-х по 7-е сутки восстановительного периода значения КДО и КСО левого желудочка оставались сниженными, однако величина УВ крови практически возвращалась к предполетным значениям. Сохранялись признаки напряжения сократительной функции миокарда, о чем свидетельствовали остающиеся повышенными Vcf и ЧСС, а также увеличение ФВ. За счет относительной тахикардии возрастал и оставался увеличенным до самого конца периода ранней реадаптации МОК (табл. 3).

К концу 2-й недели реадаптации показатели центральной гемодинамики практически полностью возвращались к предполетным значениям.

В целом выявленные в период острой реадаптации изменения центральной гемодинамики, по-видимому, были обусловлены отмечающимися после космических полетов снижением ОЦК, депонированием части крови в емкостной части кровеносного русла нижних конечностей вследствие «физиологической атрофии» венозного тонуса [Осадчий Л. И., 1982; Johnston R. et al., 1965], а также интенсивной (по сравнению с условиями обитания в невесомости) работой мышц ног, увеличивающейся по мере расширения объема физической активности космонавтов. Повышение показателей сократимости миокарда левого желудочка скорее всего отражает компенсаторную реакцию центральной гемодинамики в ответ на указанные адаптивные сдвиги. При этом признаки ухудшения морфофункциональных характеристик левых отделов сердца не выявлялись.

Вместе с тем отмеченные причины не могут объяснить появление у ряда космонавтов признаков увеличения размеров левого

Таблица 4

Реакции гемодинамики космонавтов на постуральное воздействие (до и после полета)

Параметры	До полета				1—4-е сутки реадаптации				5—14-е сутки реадаптации			
	исходный уровень	ОП=+70°	АОП=—45°	восстановление, 5-я минута	исходный уровень	ОП=+70°	АОП=—45°	восстановление, 5-я минута	исходный уровень	ОП=+70°	АОП=—45°	восстановление, 5-я минута
ЧСС (в 1 мин)	55±1	75±1	56±2	59±2	71±2	96±3	68±2	70±2	73±2	89±2	70±3	72±2
p		<0,01	>0,05	>0,05		<0,01	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05
КДО (мл)	144±8	112±5	152±9	134±6	119±7	95±6	129±9	114±7	127±4	107±6	131±7	127±5
p		<0,01	>0,05	>0,05		<0,01	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05
КСО (мл)	58±4	39±2	52±4	58±3	43±4	33±3	42±4	42±4	40±3	34±3	39±5	43±4
p		<0,01	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05
УВ (мл)	86±7	72±4	100±5	84±5	76±4	62±4	87±7	72±4	87±4	73±3	92±3	84±3
p		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05
МОК (л/мин)	4,7±0,3	5,5±0,4	5,4±0,3	4,9±0,3	5,4±0,3	6,1±0,5	6,0±0,4	5,1±0,3	6,3±0,9	6,6±0,3	6,5±0,3	6,0±0,2
p		>0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05
ФВ (%)	59±2	63±2	65±2	63±2	64±2	65±2	67±2	65±2	69±1	68±2	71±2	67±2
p		>0,05	<0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05
ДЛП (см)	2,8±0,1	2,1±0,1	2,9±0,1	2,7±0,1	2,8±0,1	21,1±0,1	3,2±0,1	2,8±0,1	2,8±0,1	2,1±0,1	3,2±0,1	2,8±0,1
p		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05
АДср (мм рт. ст.)	90±2	91±2	93±2	90±2	90±1	92±1	94±1	91±1	94±2	94±1	96±3	92±1
p		>0,05	>0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05		>0,05	>0,05	>0,05
Vcf (c^{-1})	1,15±0,03	1,46±0,06	1,22±0,05	1,24±0,04	1,36±±0,05	1,59±0,7	1,44±0,08	1,34±0,06	1,38±±0,04	1,70±±0,08	1,47±±0,05	1,41±±0,05
p		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05		<0,05	>0,05	>0,05

предсердия. Можно полагать, что развитие этих сдвигов связано с проявляющейся в невесомости регионарной перестройкой легочной гемодинамики, так как повышение кровенаполнения легких выявляется как после длительных космических полетов [Яруллин Х. Х. и др., 1984], так и в условиях моделирования некоторых эффектов невесомости [Воробьев В. Е. и др., 1984]. Есть основания полагать, что в космическом полете существенно повышено трансмуральное давление в верхних отделах легких, а вследствие существующих анатомо-топографических взаимоотношений между легочными венами и левым предсердием такие изменения давления могут вызвать увеличение размеров предсердия.

По результатам исследования функции сердца в покое, подтвердившим данные, полученные американскими исследователями [Henry W. et al., 1975], создается впечатление, что изменение, которое могло бы вызвать длительное пребывание в условиях невесомости, в значительной степени компенсировано эффективным функционированием механизмов сердечно-сосудистой регуляции. Для правильного суждения о глубине резервов компенсации потребовалось исследование в условиях функциональных нагрузочных проб (ОП, АОП, ДФН, ОДНТ).

Постуральные пробы. В периоде реадаптации дважды (на 1—4-е и 5—14-е сутки) космонавтам проводились комбинированные постуральные пробы, включающие ортостатическое (угол наклона поворотного стола +70°, продолжительность 20 мин) и антиортостатическое (—15° в течение 6 мин; затем —30°, 6 мин, и —45°, 2 мин) воздействия (табл. 4).

В период 1—4-х суток реадаптации ортостатическое воздействие вызывало развитие гемодинамических реакций, сходных по характеру с дополетными (уменьшение КДО и КСО, УВ, ДЛП, увеличение ЧСС и Vcf при относительно стабильных МОК и $АД_{ср}$); однако в количественном отношении степень изменения указанных показателей была большей. На 5—14-е сутки восстановительного периода реакции на ортопробу практически соответствовали дополетным, но некоторое усиление инотропизма миокарда все же сохранялось. Следовательно, в целом отмечалась удовлетворительная переносимость ортостатического воздействия, хотя в первые дни реадаптации она обеспечивалась компенсаторной тахикардией и усилением сократимости левого желудочка.

Анализ полученных данных дает основание полагать, что развитие указанных реакций обуславливалось не только уменьшением венозного возврата при ОП, но и снижением ОЦК. При этом

необходимая величина МОК формировалась за счет резервов сократимости левого желудочка (повышение Vcf, снижение КСО) и вследствие увеличения ЧСС. Усиление инотропизма миокарда в ответ на ортостатическое воздействие может свидетельствовать о неполной адекватности восстановления «венозного насоса».

Реакции центральной гемодинамики на антиортостатическое воздействие также отличались от дополетных. Если в дополетном периоде уже при АОП = —15° имели место некоторое увеличение КДО, ДЛП и заметный прирост ФВ, Vcf, УВ и МОК, то на 1—4-е сутки после полета гемодинамические реакции были более сглаженными и характеризовались значимым увеличением УВ, Vcf, ЧСС на углах наклона — 30° и 45°. Это свидетельствовало о повышении уровня антиортостатической устойчивости космонавтов в первые дни раннего реадаптационного периода. В более отдаленные сроки реадаптации реакции на АОП становились более выраженными и приближались по своему уровню к дополетным. При этом отмечался более выраженный, чем до полета, прирост инотропизма левого желудочка в виде достоверно повышенных величин ФВ, Vcf, МОК при существенном снижении КСО.

Полученные результаты о повышении уровня антиортостатической устойчивовсти космонавтов в первые дни после полета согласуются с данными Х. Х. Яруллина и соавт. (1984), В. В. Калиниченко и А. Ф. Жернавкова (1984), показавших в своих исследованиях в этом же периоде снижение прироста сердечного выброса и пульсового кровенаполнения сосудов головы. Таким образом, развивающаяся в невесомости адаптивная перестройка ряда систем организма в ответ на перераспределение крови в краниальном направлении сохраняется определенное время и после полета. В более поздние сроки реадаптации организм как бы утрачивает сформировавшуюся в полете способность сердечно-сосудистой системы противодействовать аналогичному перераспределению крови и в развитие адаптивных реакций на АОП вовлекаются дополнительные (инотропные) резервы компенсации.

Физическая нагрузка. В послеполетном периоде дважды (на 3—7-е и 8—15-е сутки) космонавтам проводилась ступенчато-возрастающая велоэргометрическая проба в горизонтальном положении с начальным режимом педалирования мощностью 600 кгм/мин, «шагом» каждой последующей ступени по 150 кгм/мин и продолжительностью ступеней по 5 мин. В 4 случаях максимальная нагрузка составила 1050 кгм/мин, в остальных 900 кгм/мин.

На 3—7-е сутки реадаптации выполненная в процессе педалирования общая работа и максимальная нагрузка после полета в среднем были сниженными и составили 4435±660 кгм и 769±±40 кгм/мин (до полета 7890±450 кгм и 940±22 кгм/мин). Лишь в 3 случаях выполненная работа соответствовала предполетной. Основными причинами досрочного прекращения нагрузки явились мышечная усталость ног, слабость, непривычное сердцебиение.

Реакция центральной гемодинамики на нагрузку в этот период также отличалась от дополетных (табл. 5). До полета в ответ на нагрузку сердце усиливало свои сократительные свойства (что проявлялось значимым приростом УВ, ФВ и Vcf), и МОК, как правило, существенно возрастал как за счет увеличения УВ, так и ЧСС (за исключением последней ступени ДФН, вызывавшей практически только повышение ЧСС). После полета выполнение работы обеспечивалось не столько повышением сократимости миокарда, сколько увеличением ЧСС. Даже на промежуточных режимах нагрузки ЧСС была выше соответствующих предполетных значений. Восстановление показателей после ДФН было замедленным, а реакция КДО при этом изменяла свой характер (отмечалось существенное снижение КДО в отличие от его увеличения в период восстановления при дополетных пробах).

В период 8—15-х суток реадаптации общий объем выполненной работы в среднем уже приближался к дополетному и составил 6600±650 кгм. Полный объем нагрузки выполнили 7 космонавтов. Реакции центральной гемодинамики на нагрузку практически не отличались от предполетных.

По-видимому, отмеченное выше изменение характера гемодинамических реакции на ДФН в раннем периоде реадаптации не являлось следствием ухудшения функционального состояния миокарда. При этом менее выраженное, чем до полета, увеличение сократимости сердца скорее всего связано со сравнительно быстрым ограничением функционального диапазона сократимости вследствие исходно повышенной инотропной активности миокарда. Очевидно, высокая ЧСС при нагрузке в этот период являлась показателем увеличения относительной тяжести ДФН. Заслуживает внимания и изменение характера динамики КДО левого желудочка после ДФН: его выраженное снижение после прекращения педалирования свидетельствовало о некотором видоизменении реакции периферических сосудов на нагрузку и, возможно, было связано с развитием характерной для раннего периода реадаптации «физиологической атрофии» венозного тонуса нижних конечностей [Осадчий Л. И., 1982; Johnston R. et al., 1965].

Учитывая изложенное, к расширению физической активности космонавтов на этапе ранней реадаптации следует подходить с осторожностью, так как на фоне напряженно функционирующих механизмов регуляции гомеостаза физические стрессы могут вызывать отсроченные по времени изменения функции сердца (например, аритмии, сосудистые дистонии и т. п.). Вместе с тем надо отметить, что все выявленные адаптивные сдвиги были обратимыми, хотя полного восстановления в течение первых 2 нед реадаптации все же не происходило.

Пробы с ОДНТ. На 3—5-е сутки послеполетного периода 9 космонавтам была проведена двухступенчатая проба с созданием отрицательного давления величиной 25 мм рт. ст. вокруг нижней половины тела в течение 2 мин и 35 мм рт. ст. в течение 3 мин.

Таблица 5

Реакции гемодинамических показателей на дозированную физическую нагрузку у космонавтов (пред- и послеполетное обследование)

Параметры	Перед пробой			Во время пробы с дозированной нагрузкой						Восстановительный период		
				600 кгм/мин			900 кгм/мин или максимальная					
	до полета	сутки после полета		до полета	сутки после полета		до полета	сутки после полета		до полета	сутки после полета	
		3—7-е	8—15-е		3—7-е	8—15-е		3—7-е	8—15-е		3—7-е	8—15-е
КДО (мл)	140±8	127±6	130±4	145±9	130±8	126±6	136±10	139±9	129±8	142±10	123±5	127±4
p											<0,05	
КСО (мл)	52±5	42±3	48±4	44±6	32±4	34±4	38±7	33±5	32±5	46±3	36±3	41±6
p				<0,05	<0,01	<0,01					<0,05	
УВ (мл)	88±5	85±5	83±3	102±4	97±6	92±3	107±7	103±7	97±4	94±7	87±3	86±3
p				<0,01	<0,01	<0,05						
ФВ (%)	63±2	67±2	63±2	71±2	76±2	74±2	77±1	75±2	78±3	65±2	71±2	68±3
p				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001				<0,05	
Vcf (c^{-1})	1,26±0,06	1,42±±0,04	1,27±±0,09	1,89±0,09	1,97±0,11	1,98±0,10	2,6±0,14	2,36±±0,08	2,31±±0,09	1,42±0,05	1,65±±0,06	1,5±0,08
p		<0,05		<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,01		<0,01	
МОК (л/мин)	5,7±0,4	6,5±0,4	5,9±0,3	11,2±0,5	12,3±0,8	10,9±0,6	15,0±1,0	15,1±1,1	12,7±0,8	8,1±0,6	8,0±0,6	7,8±0,4
p				<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	<0,01			
ЧСС (в 1 мин)	65±3	76±2	72±3	111±3	126±3	116±5	138±4	150±3	131±5	82±7	93±4	92±5
p		0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05			

Все обследуемые пробу перенесли хорошо. Создание обоих режимов разрежения сопровождалось значимым уменьшением КДО, УВ и ДЛП, а также усилением инотропной функции миокарда (отчетливое снижение КСО, некоторый прирост Vcf) на фоне поддержания относительно стабильного МОК за счет заметного повышения ЧСС и умеренного возрастания $АД_{ср}$. К 5-й минуте восстановительного периода все параметры центральной гемодинамики нормализовались (табл. 6).

Сравнение гемодинамических изменений на ортопробы и ОДНТ показало их несомненное сходство. И в том, и в другом случаях достижение эффекта направленного уменьшения венозного возврата крови к сердцу подтверждалось снижением КДО, УВ, ДЛП, и для поддержания адекватного состояния центральной и периферической гемодинамики сердцу приходилось усиливать свою инотропную и хронотропную функцию.

Сравнение до- и послеполетных реакций на пробу с ОДНТ показало, что у 2 космонавтов после полета при нормальных показателях центральной гемодинамики отмечались более высокие значения ЧСС и МОК. Эти изменения можно расценить как компенсаторную реакцию, направленную на поддержание церебрального кровотока при снижении тонуса периферических сосудов.

Следовательно, при воздействии ОДНТ после длительных космических полетов признаков ухудшения функционального состояния миокарда по данным эхокардиографии у космонавтов не отмечалось.

Таким образом, эхокардиографическое обследование после выполнения длительных орбитальных полетов позволило установить следующее:

— после завершения полета у космонавтов снижается объем наполнения левого желудочка сердца и величина ударного выброса, что, как правило, сопровождается усилением сократимости миокарда и повышением ЧСС (последние остаются таковыми до конца первой недели реадаптации);

— в первые дни реадаптации удовлетворительная переносимость ортостатических воздействий обеспечивается компенсаторной тахикардией и усилением сократимости левого желудочка. Уровень антиортостатической устойчивости у космонавтов в этот период выше, чем до полета;

— в период 3—7 сут реадаптации снижение переносимости космонавтами физических нагрузок сопровождается определенным ограничением функционального диапазона сократимости миокарда и бо́льшим усилением хронотропной функции сердца, видоизменением реакции периферических сосудов на нагрузку;

— характер реакций сердечно-сосудистой системы на ортопробы и ОДНТ на послеполетном этапе имеет большое сходство.

Перечисленные адаптивные изменения гемодинамики большей частью нормализуются к концу 2-й недели послеполетного периода, однако полного восстановления в эти сроки все же не происходит.

Таблица 6

Изменения гемодинамических показателей в ответ на пробу с ОДНТ (после полета)

Параметры	До пробы	Во время пробы ОДНТ		Восстановительный период (5 мин)
		—25 мм рт. ст.	—35 мм рт. ст.	
КДО (мл)	122±8	106±7	99±7	121±6
p		<0,01	<0,01	<0,01
p_1				
КСО (мл)	39±3	36±4	33±3	38±4
p			<0,05	
p_1				
УВ (мл)	83±6	69±4	66±4	83±6
p		<0,01	<0,01	
p_1				<0,01
ФВ (%)	68±2	66±3	67±2	68±3
p				
p_1				
Vcf (c^{-1})	1,42±0,04	1,56±0,01	1,6±0,1	1,4±0,05
p				
p_1				
МОК (л/мин)	6,4±0,5	5,9±0,4	6,2±0,6	6,3±0,5
p				
p_1				
ДЛП (см)	2,8±0,1	2,4±0,1	2,2±0,1	2,7±0,1
p		<0,05	<0,01	
p_1				
ЧСС (в 1 мин)	78±3	86±4	92±4	76±4
p		<0,001	<0,001	
p_1				<0,001
$АД_{ср}$ (мм рт. ст.)	90,1±1,2	92,3±1,4	93,2±1,3	90,8±0,9

Примечание. Степень достоверности: p — внутри групп по отношению к данным до пробы; p_1 — между режимом —35 мм рт. ст. и восстановительным периодом.

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ВО ВРЕМЯ 237-СУТОЧНОГО ПОЛЕТА

Одним из разделов программы медико-биологических исследований, выполненных в течение 237-суточного полета, явилось изучение состояния центральной гемодинамики и гемоциркуляции в системе сосудов головы и нижних конечностей с помощью ультразвуковых методов.

Состояние центральной гемодинамики. Исследования методом эхокардиографии проводились с помощью отечественной аппаратуры «Аргумент» с записью информации на бортовой видеомагнитофон и последующей передачей ее на Землю по телевизионному каналу связи, а также советско-французского прибора «Эхограф» с аналогичной регистрацией информации и доставкой видеокассет с экспедициями посещения на Землю.

Помимо исследования эхокардиографических показателей,

Таблица 7

Динамика эхокардиографических показателей у космонавтов в покое в условиях длительного полета

Показатели	До полета			Средние за полет		
	обследуемый космонавт			обследуемый космонавт		
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
ЧСС (в 1 мин)	73	64	63	62±2	72±1	67±1
КДО (мл)	128	143	136	153±4	121±3	118±2
КСО (мл)	46	55	44	56±2	41±2	37±3
УВ (мл)	82	90	92	97±4	80±2	82±2
ФВ(%)	64	62	68	63±1	66±1	69±2
Vcf (c^{-1})	1,28	1,07	1,22	1,07±0,03	1,2±0,03	1,27±0,06
МОК (л/мин)	6,0	5,8	5,7	6,1±0,4	5,8±0,2	5,5±0,1
ДЛП (см)	3,1	3,0	3,0	3,1±0,1	2,7±0,1	2,3±0,1

описанных в предыдущем разделе, с помощью аппаратуры «Эхограф» дополнительно проводилась двухмерная эхокардиография («В-сканирование») с определением размеров камер сердца по двухмерным акустическим изображениям.

При исследованиях в покое, выполненных по 14—22 раза для каждого из членов экипажа, начиная с 30-х суток и с периодичностью 1—2 мес в течение полета, зарегистрированные эхокардиограммы имели типичный вид. Признаков нарушения сократительной функции сердца не было выявлено. Сокращения задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки были активными, синергичными.

У 2 из 3 космонавтов в полете отмечалось некоторое уменьшение КДО полости левого желудочка и УВ (на 14—15 и 9—12% соответственно). МОК при этом практически не изменялся, так как снижение УВ компенсировалось небольшим повышением ЧСС. У 3-го члена экипажа имело место увеличение КДО и УВ (в среднем на 20%) на фоне снижения ЧСС и поддержания МОК на дополетном уровне (табл. 7).

Размер левого предсердия во время полета у одного из членов экипажа не изменялся, у второго периодически умеренно увеличивался, а у третьего был отчетливо сниженным (на 20—23%) по отношению к дополетному.

Показатели, характеризующие сократительную способность миокарда, по величине соответствовали исходным.

Анализ полученных результатов по реадаптации 17 космонавтов и в полете у 3 человек в целом позволяет отметить, что, по-видимому, в длительных орбитальных полетах в фазе устойчивой адаптации к невесомости изменения показателей центральной гемодинамики сопряжены большей частью с уменьшением раз-

меров и объема полости левого желудочка, а также УВ, т. е. сходны с таковыми в периоде реадаптации.

Подобные изменения отмечались и при моделировании эффектов длительного пребывания в невесомости [Красных И. Г., 1979; Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980] по результатам различных методов исследования. Поскольку величина КДО левого желудочка сердца зависит в основном от венозного возврата крови, правомерно предположить, что в условиях перераспределения жидких сред организма и измененного ОЦК, характерных для невесомости, действие механизмов регуляции направлено на поддержание основных параметров гемодинамики (таких как минутный объем) на постоянном уровне.

Отмеченное у одного из космонавтов увеличение левого предсердия, как и аналогичные изменения у некоторых членов экипажей в первые дни реадаптации, мы также связываем с регионарной перестройкой легочной гемодинамики и возможным увеличением кровенаполнения легких.

Выявленные сдвиги следует четко дифференцировать с изменениями гемодинамики, характерными для острого периода адаптации к невесомости, в котором развивается комплекс начальных приспособительных реакций к условиям космического полета при выраженном перераспределении крови в краниальном направлении. Как и в первые сутки полета [Pourcelot Z. et al., 1983], так и при моделировании эффектов острого периода адаптации [Быстров В. В. и др., 1986; Казакова Р. Т., Катунцев В. П., 1986] адаптивная перестройка показателей кровенаполнения камер сердца и его насосной функции имеет волнообразный, фазный характер. При этом в полете фаза достоверного увеличения КДО и УВ выявляется на 3—4-е сутки, а в условиях моделирования — в первые 2 ч и на 2-е сутки гипокинезии. Указанные изменения чередуются с периодами уменьшения этих показателей.

Доминирующей тенденцией в первые дни гипокинезии, по-видимому, все же является увеличение КДО и УВ, вызванное улучшением венозного возврата крови [Савилов А. А., 1982; Савилов А. А., Бабин А. М., 1982].

Очевидно, что в отличие от результатов, характерных для острого периода адаптации, полученные нами данные характеризуют некоторое относительно устойчивое состояние центральной гемодинамики и сердечно-сосудистой системы в целом. В пользу этого предположения говорят имеющиеся данные о том, что волнообразная адаптивная перестройка показателей состояния сердечно-сосудистой системы ориентировочно завершается уже к 4—7-м суткам гипокинезии [Быстров В. В. и др., 1986; Казакова Р. Т., Катунцев В. П., 1986], а также опубликованные ранее результаты других методов исследований в 237-суточном полете [Григорьев А. И. и др., 1985].

Поэтому следует полагать, что в период проводимых нами эхокардиографических обследований формирование комплекса начальных приспособительных реакций (поиск оптимальной формы регулирования основных функций организма, реализация «разгрузочных» рефлексов, перераспределение и депонирование крови по сосудистым областям, компенсаторный сброс жидкости и др.) уже практически завершено и на первый план в генезе выявленной динамики КДО и УВ начинают выступать в первую очередь формирующиеся на новом — адаптивном — уровне регуляции изменения венозного возврата крови и ОЦК.

Проба с ДФН. У 2 космонавтов проведено по 6 двухступенчатых проб с ДФН типа PWC-170. Во время полета у обоих космонавтов отмечены однотипные изменения центральной и общей гемодинамики на нагрузку, отличавшиеся от изменений в предполетном периоде. До полета при ДФН имело место увеличение КДО и УВ (на 27—45%), уменьшение КСО, возрастание МОК как за счет ЧСС, так и УВ, т. е. реакции развивались по так называемому спортивному типу. В полете при равной нагрузке УВ и МО были ниже, чем в предполетных исследованиях, у обоих космонавтов на 25—30 и 13—15%, а МОК возрастал только за счет повышения ЧСС. При этом также отмечалось усиление инотропизма миокарда (увеличение ФВ и Vcf). Достоверных изменений характера внутрисердечной гемодинамики при ДФН в зависимости от длительности пребывания в невесомости не отмечено (табл. 8).

Более низкие (по сравнению с дополетными) значения УВ при ДФН хотя и отражают определенное отклонение режима регуляции насосной функции миокарда от оптимального, но, по-видимому, не являются следствием ухудшения функционального состояния миокарда, так как показатели сократительной способности миокарда при этом были даже выше предполетных. Очевидно, величина УВ во время полета была ограничена сниженным объемом наполнения левого желудочка и высокая ЧСС при нагрузке являлась компенсаторной реакцией по отношению к УВ, а не показателем увеличения относительной тяжести ДФН. Наиболее вероятной причиной обнаруженных изменений могло быть уменьшение ОЦК, приведшее к некоторому снижению венозного возврата крови.

Проба с ОДНТ. У 2 космонавтов в полете проведено по 4—5 трехступенчатых проб ОДНТ с величинами разрежений —25 мм рт. ст. (продолжительность 3 мин), —35 и —45 мм рт. ст. с продолжительностью ступеней по 5 мин.

Воздействие ОДНТ в предполетном периоде у обоих космонавтов вызывало повышение ЧСС, уменьшение КДО, УВ и ДЛП на фоне неизменной ФВ. У одного из космонавтов МО практически не изменялся, у другого — незначительно снижался на последней ступени разрежения (табл. 9).

Во время полета величины эхокардиографических показателей в состоянии покоя перед пробой у них были в основном ниже предполетных. При воздействии ОДНТ до —35 мм рт. ст. у обоих космонавтов наблюдались изменения ЧСС, аналогичные предполетным, и снижение КДО, УВ и ДЛП пропорционально величине

Таблица 8

Изменение показателей центральной гемодинамики у 2 космонавтов в ответ на велоэргометрическую пробу PWC-170 в полете

Показатели	Обследуемый космонавт	До полета: исходное значение	Н-1	О-1	О-5	Н-1	В-1	В-5	Средние значения за полет: исходное значение	Н-1	О-1	О-5	Н-2	В-1	В-5
ЧСС (в 1 мин)	1-й	62	122	98	81	135	109	84	74	116	96	87	153	103	90
	2-й	59	110	100	87	135	120	85	66	125	99	86	146	113	92
КДО (мл)	1-й	143	155	128	138	172	156	132	118	112	120	122	110	109	120
	2-й	135	157	155	138	156	145	139	117	108	110	114	110	112	120
КСО (мл)	1-й	58	38	25	52	54	40	37	41	30	30	35	18	24	40
	2-й	39	37	37	38	34	31	39	31	19	20	29	16	22	29
УВ (мл)	1-й	86	116	102	86	118	115	95	77	91	90	86	92	83	80
	2-й	95	119	118	100	121	114	100	86	88	90	85	94	90	90
ФВ (%)	1-й	60	76	80	62	69	74	72	65	82	75	71	84	79	66
	2-й	71	76	76	73	78	78	72	74	82	81	74	85	80	76
Vcf (c^{-1})	1-й	1,0	1,94	1,91	1,12	2,2	1,88	1,37	1,12	2,29	1,68	1,33	2,91	2,51	1,28
	2-й	1,23	1,94	1,82	1,53	2,47	2,19	1,59	1,33	2,41	2,14	1,48	2,89	2,37	1,69
МОК (л/мин)	1-й	5,2	14,1	9,9	6,9	15,9	12,5	7,9	5,7	10,4	8,6	7,0	14,0	8,7	7,3
	2-й	5,6	13,2	11,7	8,7	16,4	13,7	8,5	5,5	11,0	8,8	7,3	13,7	10,2	8,3

Примечание. Н-1 — первая ступень нагрузки; О-1 и О-5 — 1-я и 5-я минуты отдыха; Н-2 — вторая ступень нагрузки; В-1 и В-5 — 1-я и 5-я минуты восстановительного периода.

Таблица 9

Изменения показателей центральной гемодинамики у 2 космонавтов в ответ на воздействие ОДНТ

Показатели	Обследуемый космонавт	До полета: режим ОДНТ, мм рт. ст.: до пробы	—25	—35	—45	В-1	В-5	Средние за полет: режим ОДНТ, мм рт. ст.: до пробы	—25	—35	—45	В-1	В-5
ЧСС (в 1 мин)	1-й	64	72	84	87	63	58	69	79	82	103	68	64
	2-й	72	72	72	80	70	70	69	72	78	84	66	66
КДО (мл)	1-й	143	121	97	89	143	126	123	107	96	96	114	131
	2-й	132	132	126	118	145	130	122	117	102	80	130	131
УВ (мл)	1-й	88	82	64	56	82	85	79	72	64	62	66	84
	2-й	91	91	85	79	94	90	81	66	62	51	82	86
ФВ (%)	1-й	62	68	66	63	57	67	65	67	67	65	58	64
	2-й	69	69	67	67	65	69	65	57	61	64	63	66
КСО (мл)	1-й	55	39	33	33	61	41	44	35	32	34	49	47
	2-й	41	41	41	39	51	40	43	47	40	30	48	45
Vcf (c^{-1})	1-й	1,07	1,26	1,3	1,7	1,46	1,17	1,21	1,47	1,59	2,12	1,28	1,18
	2-й	1,3	1,32	1,22	1,39	1,09	1,18	1,21	1,43	1,5	1,72	1,37	1,18
МОК (л/мин)	1-й	5,8	5,9	5,4	4,9	5,1	4,9	5,5	5,8	4,4	6,4	4,5	5,2
	2-й	6,5	6,6	6,1	6,3	6,6	6,3	5,6	4,8	4,9	4,4	5,4	5,7
ДЛП (см)	1-й	3,0	2,5	2,3	2,3	2,2	2,2	2,7	2,3	2,6	2,4	2,7	2,9
	2-й	2,8	2,2	2,1	2,1	2,5	2,7	2,4	2,0	1,8	1,7	2,4	2,4

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 8.

разрежения. У одного из космонавтов эта тенденция сохранялась и при разрежении —45 мм рт. ст.; у другого это воздействие вызывало более значительное, чем до полета, повышение ЧСС, приводившее к увеличению МОК.

Признаков снижения сократительной способности миокарда не отмечалось, так как во всех пробах соотношение между наполнением левого желудочка и УВ было постоянным. Аналогичный характер изменений гемодинамики сохранялся и в начальный период реадаптации.

По-видимому, более высокие значения ЧСС при нормальных показателях центральной гемодинамики и сократительной способности миокарда во время проб с ОДНТ в полете являются компенсаторной реакцией, направленной на поддержание церебрального кровотока, и скорее всего отражают избыточную активизацию вазомоторного центра и его лабильность. Данные эхокардиографических исследований позволяют считать, что некоторое снижение ортостатической устойчивости после длительного полета происходило в результате ухудшения функционального состояния миокарда.

Таким образом, эхокардиографическое обследование космонавтов в условиях полета позволило установить:

— характер перестройки эхокардиографических показателей центральной гемодинамики в фазе устойчивой адаптации к невесомости в виде уменьшения объема полости левого желудочка и УВ большей частью аналогичен таковому для периода ранней реадаптации к земным условиям. Вместе с тем в полете может иметь место и увеличение кровенаполнения левых отделов сердца, возможно связанное с индивидуальными адаптивными реакциями;

— в невесомости отмечается видоизмененная (по отношению к дополетной) реакция центральной гемодинамики на ДФН, проявляющаяся в ограниченном объеме наполнения левого желудочка сердца и УВ, усилении инотропизма миокарда, повышении ЧСС и неэффективном использовании систолических резервов регуляции МОК;

— в условиях полета при пробах с воздействием ОДНТ отмечается большее повышение ЧСС и как следствие МОК, чем в предполетном периоде, что скорее всего связано с избыточной активизацией вазомоторного центра и его лабильностью;

— признаков снижения сократительной способности миокарда ни в условиях покоя, ни при пробах с ДФН и ОДНТ в полете не выявлено.

Состояние гемоциркуляции по исследованиям сосудов головы и нижних конечностей. В 237-суточном полете с помощью аппаратуры «Эхограф» методами двухмерной эхо- и доплервазографии [Лунев Д. К. и др., 1980; Sandra Z., 1983] проводилось исследование диаметра общих сонных артерий и внутренних яремных вен, бедренных артерий и вен, объемной скорости кровотока по указанным сосудам, а также линейной скорости кровотока по надблоковым[1] и задним большеберцовым артериям. Указанные показатели регистрировались в условиях покоя, а для яремных вен, кроме того, при пробах Вальсальвы (натуживание с созданием избыточного давления в 50 мм рт. ст. в течение 15 с). Информация записывалась на бортовой видеомагнитофон и обрабатывалась после доставки видеокассет с экспедициями посещения на Землю.

Гемоциркуляция в системе общих сонных артерий (ОСА) в покое. Диаметр общих сонных артерий в полете у всех 3 членов экипажа оставался практически неизменным по сравнению с предполетными значениями, а в периоде реадаптации у 2 космонавтов он несколько уменьшался. Линейная скорость кровотока по сосудам в полете у 2 космонавтов преимущественно умеренно возрастала с явлениями асимметрии ее распределения, у одного — изменялась несущественно. В периоде реадаптации у одного из членов экипажей этот показатель увеличивался, у 2-го — уменьшался и у 3-го — существенно не изменялся. Минутная объемная скорость кровотока по ОСА во второй половине полета большей частью умеренно возрастала у 2 космонавтов и незначительно изменялась у 3-го. В периоде реадаптации имело место некоторое ее снижение у всех членов экипажа (табл. 10).

Полученные результаты в целом укладываются в рамки современных представлений о механизмах регулирования адекватного кровоснабжения головного мозга [Мчедлишвили Г. И., 1968] и дополнительно подтверждают несостоятельность представлений господствовавшей ранее «доктрины Монро—Келли» о постоянстве мозгового кровообращения при любых условиях. Выявленные нами изменения объемной скорости кровотока в ОСА, в частности, соответствуют диапазону ее колебаний, отмечаемых при орто- и антиортопробах у животных [Осадчий Л. И., 1982]. Отсутствие значимой динамики диаметра общих сонных артерий на исследуемых участках сосудов в невесомости, несомненно, связано с тем, что магистральные артерии головы наиболее сильно изменяют свой просвет и богато иннервированы лишь в области анатомических изгибов (сифонов), которые локализованы в полости черепа (а не на участке шеи).

По нашему мнению, умеренное увеличение объемной скорости кровотока по ОСА во второй половине полета отражает некоторое усиление метаболических потребностей тканей мозга, возможно, связанное с большой загрузкой членов экипажа в этот период сложной бортовой деятельностью и повышением в связи с этим напряженности функционирования механизмов регуляции церебрального гомеостаза. Умеренное снижение объемной скорости кровотока в раннем периоде реадаптации скорее всего связано с адаптивной перестройкой системной гемодинамики (сни-

[1] Ветвь a. ophtalmica, локализующаяся на выходе артерии из глазницы при прохождении через блок (trochlea) [Кишш Ф., Сентоготаи Я., 1963].

Таблица 10

Динамика линейной и объемной скорости кровотока по правой и левой общим сонным артериям у космонавтов в полете (по сравнению с предполетными значениями)

Обследуемый космонавт	Этап исследования	Сутки	Правая артерия V (%)	Правая артерия $V_{об}$ в 1 мин (%)	Левая артерия V (%)	Левая артерия $V_{об}$ в 1 мин (%)
1-й	В полете	105-е 188-е	—24 +22	—24 +11	—21 +40	— +35
	После полета	+1 +9	+75 + 5	—11 —33	+20 +55	— —
2-й	В полете	14-е 108-е 188-е	+40 0 +30	— +33 +30	0 +40 +27	— — +27
	После полета	+1 +9	—35 —40	—13 —20	—30 —15	— —
3-й	В полете	63-и 106-е 207-е	—12 +6 —8	—9 +9 —13	+3 0 —6	— — —
	После полета	+1 +9	—6 —10	—6 —34	+12 +2	+12 —

Примечание. V — изменения линейной скорости кровотока; $V_{об}$ — изменения объемной скорости кровотока в 1 мин.

жением выброса крови и ОЦК), а также уменьшением венозного возврата за счет «физиологической атрофии» (детренированности) венозного тонуса нижних конечностей.

Гемоциркуляция в системе внутренних яремных вен (ВЯВ). Диаметр яремных вен в покое в период 1—2 мес полета у 2 космонавтов уменьшался по отношению к дополетным величинам (на эхограммах вены выглядели полуспавшимися), а с 3—4-го месяца и до конца полета отмечалось увеличение просвета ВЯВ у всех 3 членов экипажа (с одной или с обеих сторон). В раннем периоде реадаптации у космонавтов диаметр ВЯВ, как правило, отчетливо уменьшался; на эхограммах вены выглядели почти полностью спавшимися.

Динамика линейной скорости кровотока по сосудам у 2 членов экипажа была разнонаправленной, асимметричной, а у 3-го космонавта — невыраженной. Объемная скорость кровотока по яремным венам в полете возрастала у 2 и не изменялась у 3-го члена экипажа, а в периоде реадаптации отчетливо снижалась у всех космонавтов (табл. 11).

Выявленная динамика просвета яремных вен согласуется с полученными ранее с нашим участием результатами оценки ве-

Таблица 11

Динамика диаметра сосудов, линейной и объемной скорости кровотока по правой и левой ВЯЗ у космонавтов в полете (по сравнению с предполетными значениями)

Обследуемый космонавт	Этап иследоваия	Сутки	Правая ВЯВ Д (мм)	Правая ВЯВ V (%)	Правая ВЯВ $V_{об}$ в 1 мин (%)	Левая ВЯВ Д (мм)	Левая ВЯВ V (%)	Левая ВЯВ $V_{об}$ в 1 мин
1-й	В полете	21-е	—	—2				—
		105-е	0	+9	—5			—
		188-е	0	+9	—1	+2,5	—10	—2
	После полета	+1	—2,5	—66	—79	—	—	—
		+2	—3	—	—	—	—	—
		+9	—4	—26	—75	—	—55	—
2-й	В полете	14-е	—1,5	—	—	—	—	—
		108-е	0	+36	+81	—	—	—
		188-е	+2	—29	+21	+1	+20	+75
	После полета	+1	0	—	—	—	—	—
		+2	—1,5	—	—	—	—	—
		+9	—2,5	—58	—78	—	—33	—
3-й	В полете	63-е	—2	—	—	—	—	—
		106-е	+3	+63	+136	0	—32	—55
		207-е	+2,5	+47	+96	—	—	—
	После полета	+1	—0,5	—	—	—	—	—
		+2	—2,5	—	—	—	—	—
		+9	—2	+21	—37	—	—44	—

Примечание. Д — изменения диаметра сосуда в полете; V, $V_{об}$ — то же, что в табл. 10.
Значения исходного диаметра ВЯВ от 3,5 до 6,5 мм.

нозного давления в условиях полета [Юганов Е. М. и др., 1977; Дегтярев В. А. и др., 1979]: ко 2-му месяцу пребывания в невесомости давление в яремных венах у космонавтов, как правило, снижалось ниже дополетного уровня, а в первые дни реадаптации оно было близким к нулю. В эти же периоды в 237-суточном полете отмечалось и уменьшение диаметра венозных сосудов. Наиболее вероятной причиной уменьшения просвета ВЯВ в 1—2-й месяцы полета, по-видимому, является перераспределение крови во внутриорганные сосудистые регионы паренхиматозных органов (печень, селезенка, легкие и др.) и депонирование в них крови, за счет чего обеспечивается «разгрузка» ведущих рефлексогенных зон верхней половины тела [Юганов Е. М. и др., 1977; Дегтярев В. А. и др., 1979; Григорьев А. И. и др., 1985]. В генезе аналогичной динамики диаметра ВЯВ в периоде реадаптации скорее всего определяющими являются те же факторы, которые вызывают снижение объемной скорости кровотока по общим сонным артериям.

Представляется, что увеличение просвета ВЯВ в период с 3—4-го месяца и до конца полета на фоне сниженного ОЦК может быть обусловлено перестройкой регионарной гемодинамики в ответ на развивающиеся при длительном пребывании в невесомости

или гипокинезии изменения со стороны внутренних органов [Смирнов К. В., Уголев А. М., 1981] и обмена веществ в организме [Федоров И. В., 1982] (в первую очередь липидного обмена). Как показывают многочисленные исследования в условиях гипокинезии человека и животных [Жизневская О. В., Медкова И. Л., 1985] и после полетов животных на биоспутниках [Немет Ш., Тигранян Р. А., 1983], влияние невесомости отражается, в частности, как на общем состоянии и функции печени (умеренное увеличение размеров органа, перестройка синтетической деятельности печеночных клеток и т. п.), так и морфоструктурных характеристиках тканей органа. Очевидно, что функциональное напряжение портальной системы может вызвать изменения, несколько напоминающие картину «синдрома верхней полой вены», и проявиться увеличением кровенаполнения ВЯВ.

Индивидуальная направленность изменений объемной скорости кровотока по яремным венам как в полете, так и в периоде реадаптации в наших исследованиях совпала с таковой для общих сонных артерий, и это свидетельствует о сбалансированном соотношении отток—приток в системе церебральных сосудов. Точные количественные расчеты этого соотношения пока представляются преждевременными, и для их проведения необходимы данные о состоянии гемоциркуляции в вертебробазилярном бассейне, виллизиевом круге, внутренних сонных артериях и т. д., которыми мы не располагаем.

Натуживание в условиях полета (пробы Вальсальвы) приводило к увеличению просвета ВЯВ. Диаметр венозных сосудов при пробах увеличивался на этапе 1—3-го месяца полета в 3—3,4 раза по отношению к исходному (до пробы), а с 3—4-го месяца и до конца полета — в 1,4—2 раза. В первый из указанных периодов вены при натуживании выглядели на эхограммах частично заполненными кровью, а во втором периоде заполненными практически полностью и как бы «набухшими». Линейная скорость кровотока по ВЯВ при этом преимущественно снижалась.

Представленные данные о динамике просвета ВЯВ при пробах Вальсальвы дополнительно подтверждают сделанное выше заключение о возрастании кровенаполнения яремных вен в период с 3—4-го месяца и до конца полета. Несомненно, что снижение степени увеличения диаметра ВЯВ при дозированном повышении внутригрудного давления на фоне увеличенного исходного (до пробы) просвета сосудов отражает усиление в этот период функций ВЯВ как коллекторов венозной крови.

Динамика линейной скорости кровотока по надблоковым артериям. В условиях покоя и в период реадаптации линейная скорость кровотока по надблоковым артериям, как правило, возрастала. Приращения скорости кровотока большей частью были умеренными или существенными (иногда увеличение в 2—2,5 раза), у 2 космонавтов с заметной асимметрией.

Поскольку надблоковые артерии в анатомическом и функциональном отношении являются «связующим звеном» (пожалуй, единственным) между системами внутренних и наружных сонных артерий [Кишш Ф., Сентаготаи Я., 1963], отмеченное возрастание скорости кровотока по ним следует расценивать как проявление разгрузочной реакции, направленной на предотвращение развития явлений гипертензии в интракраниальном сосудистом бассейне. Возможно, ее проявление связано с умеренным возрастанием объемной скорости кровотока по общим сонным артериям и связанным с этим изменением соотношений градиентов давления крови в различных отделах артериального бассейна головы и мозга.

Гемоциркуляция в системе бедренных (БА) и заднебольшеберцовых (ЗББА) артерий. Диаметр бедренных артерий у космонавтов практически не претерпевал изменений ни в условиях полета, ни в периоде реадаптации. Линейная скорость кровотока по сосудам в полете увеличивалась (умеренно или значительно), а в периоде реадаптации уменьшалась у 2 и оставалась повышенной у одного члена экипажа. Минутная объемная скорость кровотока по бедренным артериям в полете несколько возрастала, а в периоде реадаптации изменялась аналогично линейной скорости кровотока. Линейная скорость кровотока по заднебольшеберцовым артериям изменялась разнонаправленно: у 1-го космонавта возрастала, у 2-го снижалась, у 3-го изменялась незначительно.

Следует отметить по крайней мере две причины, которые могли повлиять на характер динамики скорости кровотока по БА и ЗББА в полете. Во-первых, повышение скорости могло быть обусловлено включением при перераспределении крови барорецепторного рефлекса с каротидного синуса, снижающего сопротивление сосудов мышц за счет изменений их симпатического тонуса [Джонсон П., 1982; Фолков Б., Нил Э., 1976]. Во-вторых, аналогичную динамику кровотока могло вызвать вероятное развитие в мышцах нижних конечностей продолжительной слабо выраженной гиперемии метаболического происхождения, приводящей, как известно, к дилатации сосудов и являющейся одним из основных механизмов ауторегуляции кровотока в скелетных мышцах [Джонсон П., 1982; Фолков Б., Нил Э., 1976] (развитие гиперемии указанного типа, возможно, являлось следствием атрофических процессов, происходящих в невесомости в мышечных тканях). Однако, с другой стороны, развитие атрофических процессов в скелетных мышцах может способствовать и уменьшению кровотока в тканях, так как последний, как правило, пропорционален мышечной массе [Фолков Б., Нил Э., 1976]. В целом, по-видимому, влияние первых двух из отмеченных факторов (включение барорецепторного рефлекса и развитие слабо выраженной реактивной гиперемии) являлось определяющим по отношению к третьему из них.

Гемоциркуляция в системе бедренных вен

(БВ). В полете диаметр вен (БВ) уменьшался у 2 космонавтов и не изменялся у 3-го, в периоде реадаптации его динамика была аналогичной. Линейная и объемная скорости кровотока по сосудам были существенно сниженными.

Указанные изменения гемоциркуляции скорее всего были обусловлены снижением ОЦК, дегидратацией, а также утратой веномоторных рефлексов в период гипогравитации — т. е. «физиологической атрофией» венозного тонуса сосудов нижних конечностей [Осадчий Л. И., 1982; Johnston R. et al., 1965].

Проведение количественного сопоставления баланса «приток—отток» крови представляется затруднительным вследствие наличия в нижних конечностях большого количества физиологических анастомозов, дополнительных (резервных) путей оттока венозной крови, сложностей анатомического строения венозных сосудов (наличия большого числа клапанов) и других причин.

Таким образом, ультразвуковое исследование показателей гемоциркуляции по сосудам головы и нижних конечностей позволило установить следующее:

— минутная объемная скорость кровотока по общим сонным артериям и внутренним яремным венам во второй половине полета преимущественно умеренно возрастала, что, по-видимому, отражало некоторое увеличение в этот период метаболических потребностей головного мозга, связанных с характером и объемом профессиональной деятельности;

— в полете и периоде ранней реадаптации имело место отчетливое увеличение линейной скорости кровотока по надблоковым артериям, являющееся компенсаторной разгрузочной реакцией, направленной на предотвращение развития явлений гипертензии в интракраниальном сосудистом бассейне;

— у космонавтов отмечалась волнообразная адаптивная перестройка кровенаполнения внутренних яремных вен с его уменьшением в период устойчивой адаптации к 1—2 мес пребывания в невесомости, возрастанием с 3—4-го месяца и до конца полета и повторным отчетливым снижением на этапе ранней реадаптации;

— минутная объемная скорость кровотока по бедренным артериям и венам в условиях полета изменяется разнонаправленно, в связи с чем характер указанных изменений требует дальнейшего специального изучения.

ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Исследования сердечно-сосудистой системы с различной степенью детализации проводились и проводятся во всех пилотируемых полетах, поскольку эта система реагирует практически на

воздействия всех факторов космического полета и является основным звеном, при помощи которого ЦНС осуществляет свои «распорядительные и распределительные функции». По сути дела эта система представляет собой универсальный индикатор состояния организма человека. В соответствии с современными представлениями функциональные сдвиги в системе кровообращения в условиях невесомости обусловлены отсутствием гидростатического давления крови и перераспределением массы циркулирующей крови из нижней части тела в верхнюю. Приток крови к сердцу увеличивает его внутригрудной объем, что воспринимается нервными центрами, контролирующими объем и давление циркулирующей крови. Запускаются рефлекторные механизмы регуляции, приводящие к уменьшению ОЦК. Наступают гормональные преобразования, в результате которых почки выделяют повышенное количество воды и электролитов и устанавливается отрицательный водный баланс.

В более отдаленные сроки действия невесомости формируются реакции, обусловленные снятием нагрузки на опорный аппарат, особенно тоническую мускулатуру, поддерживающую тело человека в определенной позе. Следствием указанных причин является активация ряда рефлекторных влияний на деятельность сердца и сосудов, а также постепенное развитие детренированности регуляторных механизмов к физическим и гравитационным нагрузкам [Газенко О. Г., 1984; Berry Ch., 1973].

Исследования сердечной деятельности во время кратковременных пилотируемых полетов (длительностью до 18 сут), выполненные на кораблях «Восток», «Восход», «Союз» в СССР, а также по программам «Меркурий», «Джемини», «Аполлон» в США, показали, что наблюдавшиеся сдвиги в сердечно-сосудистой системе носили функциональный характер. Было установлено, что изменения ЧСС и некоторых показателей фазовой структуры сердечного цикла (по данным сейсмокардиографии) во время полета указывали на разгрузочный характер реакций и более экономичную работу сердца (уменьшение ЧСС, удлинение фазы асинхронного сокращения и разностей между фактическими и должными величинами электромеханической и механической систол). В генезе описанного синдрома ведущую роль играли, по-видимому, такие факторы, как гипокинезия и гиподинамия, в связи с малым объемом кораблей и отсутствием профилактических мероприятий, а также относительно небольшая рабочая загрузка экипажа. При выполнении сложных операций, связанных с маневрированием кораблей, синдрома разгрузочных реакций не наблюдалось. Изменения ЭКГ были несущественными, хотя у некоторых космонавтов в полете имели место кратковременные и преходящие нарушения сердечного ритма (гемодинамически незначимые) [Гуровский Н. Н., Егоров А. Д. и др., 1974; Berry Ch., 1973].

После завершения кратковременных полетов в ряде случаев проявлялась физическая и ортостатическая детренированность,

прогрессирующая с увеличением продолжительности полетов. Выявленные сдвиги послужили основанием для создания более широкой системы обследований сердечно-сосудистой системы применительно к полетам большей продолжительности для текущей оценки и прогнозирования степени снижения ортостатической устойчивости и физической работоспособности космонавтов.

Была разработана и внедрена система профилактических мероприятий, направленная, в частности, на профилактику сердечно-сосудистых нарушений.

В настоящей работе проанализированы и обобщены результаты исследований во время 96—237-суточных космических полетов на орбитальных станциях «Салют-6 и «Салют-7» с участием 17 космонавтов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились с помощью комплексной аппаратуры, установленной на борту орбитальных станций. По каналам радиотелеметрической связи с периодичностью примерно 10—30 сут регистрировали электрокардиограмму в общепринятых клинических отведениях (стандартных, усиленных, грудных) и в отведении DS, кинетокардиограмму с области верхушечного толчка, тахоосциллограмму плечевой артерии, сфигмограмму бедренной артерии в верхней ее трети, венозно-артериальную пульсограмму шейного сосудистого пучка. Обработка данных включала определение ЧСС, минимального (Мн), среднединамического (Ср), бокового систолического (Бс), конечного систолического (Кс) и пульсового (П) артериального давления (АД), гемодинамического удара (ГДУ=КсАД—БсАД), скорости распространения пульсовой волны по аорте (СРПВа) [Савицкий Н. Н., 1974], длительности фаз систолы (С) и диастолы (Д) и их составляющих: изометрического сокращения (ИС) и расслабления (ИР), механической систолы (МС), периода изгнания (ПИ), быстрого и медленного наполнения (БН и МН соответственно) [Андреев Л. Б., Амиров Р. З., Андреева Н. Б., 1971; Дегтярев В. А. и др., 1968], показателей, характеризующих состояние притока и оттока крови в яремной вене. Косвенным методом при помощи воздействия отрицательного давления на нижнюю половину тела (ОДНТ) определяли давление в яремной вене [Юганов Е. М. и др., 1977].

Вычисляли производные показатели: индекс напряжения миокарда в процентах (ИНМ=С—ПИ/С×100) и начальную скорость повышения внутрижелудочкового давления (СПВЖД=МнАД—5/ИС мм рт. ст. $с^{-1}$) [Карпман В. Л., 1965].

У 6 космонавтов в полете проводились исследования с помощью окклюзионной плетизмографии голени ($ПЛГ_г$) и у 2 из них — предплечья. Измерительную манжету располагали на средней трети голени или предплечья, компрессионную манжету, в

которой создавалось давление до 40—60 мм рт. ст.,— на средней трети бедра или плеча. Производили расчеты показателей венозного давления, растяжимости и сократимости вен, артериального притока.

Проба с ДФН проводилась на велоэргометре со средней мощностью 750—800 кгм/мин в течение 5 мин. Регистрировались на протяжении всей пробы ЭКГ в отведении DS, а в состоянии покоя — кинетокардиограмма с области верхушечного толчка, тахоосциллограмма плечевой артерии, сфигмограмма бедренной артерии.

Воздействие ОДНТ осуществлялось с помощью пневмовакуумного костюма, который герметизировался на уровне гребешков подвздошных костей. Режимы разрежения составляли: —25 мм рт. ст. по 2 мин, —35 мм рт. ст. по 3 мин. В ходе пробы регистрировались: давление в костюме, ЭКГ в отведении DS, кинетокардиограмма, сфигмограмма бедренной артерии и тахоосциллограмма плечевой артерии. У 10 космонавтов производился расчет ударного объема крови (по Бремзеру—Ранке), МОК, удельного периферического сопротивления (УПС=АДср×поверхность тела в $м^2$/МОК) и его должного значения при СрАД=85 мм рт. ст. [Савицкий Н. Н., 1974].

У 3 космонавтов дозированная физическая нагрузка осуществлялась двухступенчато: 1-я нагрузка — 800 кгм/мин в течение 5 мин, пауза 5 мин, 2-я нагрузка — 950—1050 кгм/мин в течение 5 мин. Производили расчет показателя физической работоспособности (PWC_{170}) по формуле:

$$PWC_{172} = W_1 + (W_2 - W_1)\,\frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}\ ,$$

где W_1 и W_2— мощность нагрузки соответственно при 1-й и 2-й ступенях нагрузки (кгм/мин); f_1 и f_2— ЧСС в установившемся режиме соответственно при 1-й и 2-й ступенях нагрузки (в 1 мин) [Карпман В. Л., 1968].

У этих же космонавтов проба с ОДНТ проводилась при режимах разрежения: —25 мм рт. ст. в течение 1 мин, —35 мм рт. ст.— 5 мин, —45 мм рт. ст.— 5 мин.

С использованием двухфакторного дисперсионного анализа изучалось влияние на физиологические показатели длительности космического полета и суточной ритмики, а при функциональных пробах — влияние функциональных нагрузок, а также взаимодействие указанных факторов. Был применен также метод вариационной статистики с определением t-критерия по Стьюденту.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ПОКОЕ

Изменения основных показателей сердечной деятельности во время полета представлены в табл. 12.

В среднем по всей группе космонавтов изменения ЧСС были статистически недостоверны и характеризовались невыраженной

Таблица 12

Изменения показателей гемодинамики у космонавтов в покое во время космических полетов ($M \pm m$)

Показатели	До полета	Этапы полета			
		1 мес		2—8 мес	
	абсолютные величины	абсолютные величины	отклонение от величины до полета, %	абсолютные величины	отклонение от величины до полета, %
ЧСС (в 1 мин)	63±1,6	62±2,2	+0,8	67±2,4	+7
МнАД (мм рт. ст.)	64±0,8	61±0,8	—5*	60±1,0	—7*
СрАД » » »	87±1,9	85±1,8	—2	83±1,5	—5*
БсАД » » »	105±2,1	102±3,3	—4	99±2,7	—6*
КсАД » » »	131±1,5	128±2,5	—2	131±2,0	0
ПАД » » »	40±1,0	40±1,9	0	39±1,4	—2
БИ (мс)	93±6,3	84±4,0	—10*	86±3,1	—8*
МС »	344±4,7	355±4,5	+3*	338±3,2	—2*
ИНМ (%)	26,8±0,4	25,8±0,3	—4	25,9±0,3	—3
СПВЖД (мм рт. ст/с)	1147±38,5	1161±33,9	+1	1179±42,1	+3*
МН (мс)	333±20,9	396±36,9	+19*	316±29,2	—5*
СП »	68±1,5	64±2,1	—6	64±1,5	—6*
СРПВ (м/с)	6,5±0,13	7,8±0,15	+20*	7,7±0,11	+18*

* — достоверность различия с предполетными данными ($p<0,05$). ЧСС — частота сердечных сокращений; МнАД — минимальное артериальное давление; СрАД — среднединамическое артериальное давление; БсАД — боковое систолическое артериальное давление; КсАД — конечное систолическое артериальное давление; ПАД — пульсовое артериальное давление; БИ — фаза быстрого изгнания; МС — механическая систола; ИНМ — индекс напряжения миокарда; СПВЖД — скорость повышения внутрижелудочкового давления; МН — медленное наполнение; СП — систола предсердий; СРПВ — скорость распространения пульсовой волны по аорте.

тенденцией к увеличению на 2—8-м месяцах полета по отношению к предполетным данным.

На 1-м месяце отмечались разнонаправленные изменения данного показателя, а на 2—8-м месяце преобладали случаи его увеличения (у 8 космонавтов) или отсутствия существенных сдвигов. У 2 космонавтов это увеличение было значительным и достигало 29—49% от исходного уровня. В большинстве случаев наибольшее увеличение ЧСС наблюдалось на 4—5-м месяцах полета. В то же время у 2 из 17 космонавтов имело место снижение ЧСС на 10—25%.

Наблюдавшееся умеренное возрастание ЧСС в полете, по-видимому, можно связать с некоторым преобладанием в процессах вегетативной регуляции сердечного ритма симпатических влияний. Подобные явления обычно имеют место в экспериментах с длительным пребыванием обследуемых в состоянии гиподинамии [Панферова Н. Е., 1977].

По мнению Н. Е. Панферовой (1977), в условиях гиподинамии наблюдается преобладание влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы на хронотропную функцию сердца, в связи с тем что центр вагусной иннервации не обладает

«внутренней» тонической активностью, а поддерживается в основном за счет импульсации с сердечно-сосудистых механорецепторов и рецепторов двигательного аппарата [Фолков Е., Нил Э., 1976], и, следовательно, в условиях ограниченной подвижности тонус центра блуждающих нервов снижается в большей степени, чем тонус симпатических нервов.

На ЭКГ, как правило, отмечалась умеренная синусовая аритмия, которая по своей выраженности существенно не отличалась от предполетной. Однако в первые дни и особенно часы пребывания в невесомости постоянно отмечалось заметное увеличение аритмии, когда ΔRR в отдельных случаях достигала 0,5 с. В ряде случаев изменялся ее характер — она становилась апериодической. У одного космонавта возникла преходящая миграция водителя ритма в пределах синусового узла.

Нарушения возбудимости отмечались крайне редко и проявлялись в этих случаях в виде наджелудочковых экстрасистол. Возникновение их обыкновенно было связано с высоким нервно-эмоциональным напряжением, а также сочеталось с симптомами утомления.

Изменения проводимости ограничивались изменениями времени предсердно-желудочкового и внутрижелудочкового проведения. Блокад сердца не отмечалось. Изменения проводимости не были однонаправленными, однако чаще имело место незначительное увеличение времени предсердно-желудочкового проведения (в среднем на 0,01—0,02 с).

Изменения величины биопотенциалов возникали постоянно и часто носили волнообразный характер. Амплитуды зубцов *P* увеличивались только у небольшого числа космонавтов. Это увеличение было в ряде случаев значительным (в 1,5—2 раза) и проявлялось чаще в начале полета. Однако у некоторых обследуемых увеличение зубцов *P* сохранялось на протяжении всего полета. Сходные изменения отмечались и у астронавтов орбитальной станции «Скайлэб» [Hoffler G., 1977].

Изменения конечной части желудочкового комплекса были в полете наиболее выраженными, многочисленными и разнообразными. Обычно они имели фазный характер. У всех космонавтов в большинстве регистрируемых отведений отмечалось снижение амплитуды зубцов *T*. При этом изменялось соотношение их величин в правых и левых грудных отведениях. В редких случаях отмечались преходящие деформации зубцов *T* в виде появления отрицательной фазы, уплощения, раздвоения или заострения их вершины. Проведение векторного анализа с целью дифференциальной диагностики первичных и вторичных изменений подтверждало в каждом конкретном случае отсутствие патологических изменений. Существенное изменение положения проекции векторов деполяризации и реполяризации наблюдалось в единичных случаях, определенная динамика при этом отсутствовала. Изменения отношения величин векторов $M_F QRS/M_F T$ носили индивидуальный характер. Однако значительно чаще отмечалось увели-

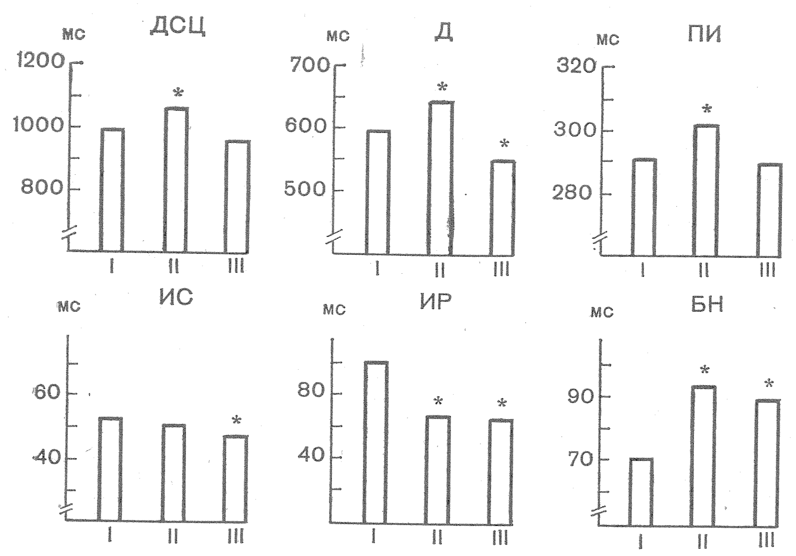


Рис. 1. Изменения средних величин длительности сердечного цикла (ДСЦ), диастолы (Д), периода изгнания (ПИ), фаз изометрического сокращения (ИС), изометрического расслабления (ИР) и быстрого наполнения (БН) у космонавтов в состоянии покоя во время длительных полетов.

Звездочкой показано отличие от предполетных данных, статистически достоверное ($p<0,05$).

I — до полета; II — 1 мес полета; III — 2—8 мес полета.

чение этого показателя, преимущественно за счет уменьшения вектора реполяризации. Вопрос о генезе указанных изменений до настоящего времени остается открытым. Наиболее существенное влияние предположительно могли оказать нейрогуморальные сдвиги, изменения интра- и экстракардиальной гемодинамики, а также состояние водно-солевого обмена с соответствующими изменениями метаболизма сердечной мышцы. Следует отметить, что значимые изменения ЭКГ проявлялись обычно через 4—5 мес полета, а также в более ранние сроки полета при увеличении интенсивности работы или при снижении уровня профилактических физических тренировок.

Фазовая структура сердечного цикла (левого желудочка) имела в полете ряд характерных изменений. Длительность сердечного цикла (ДСЦ), как и длительность тесно с ней коррелирующих фаз (общей и механической систолы, диастолы, периодов изгнания и наполнения), в среднем не претерпевали значительных изменений. В то же время сдвиги фаз, не имеющих отчетливой зависимости от ДСЦ, проявлялись более выраженно. У космонавтов определялись укорочение изометрических фаз сокращения (с 51 до 47 мс на 2—8-м мес полета, $p<0,05$) и расслабления (с 101 до 64—67 мс, $p<0,05$) и изменения быстрых изотонических фаз: укорочение фазы быстрого изгнания (с 93 до 84—86 мс, $p<0,05$) и удлинение быстрого наполнения (с 71 до 88—93 мс, $p<0,05$) (рис. 1).

На относительно ранних этапах полета не было отмечено отчетливо сформированного фазового синдрома нагрузки сердца объемом*, что указывало на кратковременность периода явного переполнения сердца кровью при перераспределении ее в верхнюю половину тела. В последующем укорочение фазы ИС можно рассматривать как реакцию усиления сократительной функции миокарда левого желудочка, а укорочение фазы ИР и удлинение фазы быстрого наполнения — как активизацию функции расслабления и усиления его присасывающей способности.

Предположительно такие сдвиги в деятельности сердца можно объяснить усилением его насосной функции в связи с уменьшением удельного веса мышечного фактора в кровообращении. Антигравитационная мускулатура и мышечная система в целом в невесомости вследствие постоянной недогруженности и снижения двигательной активности в определенной степени детренируются. И. Б. Козловской и соавт. (1981) после длительных полетов были выявлены выраженная атония мышц голени, атрофия длинных и субатрофия широких мышц спины, снижение силовых характеристик икроножной и переднеберцовой мышц голени.

Снижение нагрузки на мышцы и их детренированность проявляются уменьшением эффективности работы мышечного насоса, что было показано при исследовании этой функции непосредственно в полете [Thornton W., Hoffler G., Rummel J., 1977]. В условиях невесомости может снижаться активность «периферических сердец» [Аринчин Н. И., Недвецкая Г. Д., 1974].

Поэтому можно полагать, что в условиях невесомости увеличение нагрузки на сердце проявляется повышением его систолической работы (vis a tergo) и присасывающей функции (vis a fronte) в передвижении крови по сосудам.

Изменения сосудистой системы. Определенные сдвиги претерпевали и показатели сосудистой системы. Параметры артериального давления в плечевой артерии в среднем изменялись в умеренных пределах, однако обнаруживалась тенденция к снижению минимального, срединамического и бокового систолического артериального давления, причем эти изменения (в среднем на 5—7%), проявлявшиеся на 2—8-м месяцах полета, были статистически достоверны ($p<0,05$). Снижение уровня диастолического давления в полете можно, очевидно, связать с уменьшением периферического сосудистого сопротивления, а снижение бокового систолического давления скорее всего обусловлено некоторым уменьшением в полете ударного объема крови. Кроме того, в большинстве обследований определялось увеличение гемодинамического удара, что могло быть вызвано увеличением линейной скорости движущегося столба крови вследствие как усиления энергии систолического выброса сердца, так и относительного уменьшения периферического сопротивления с одновре-

---

* Названия фазовых синдромов приводятся по классификации В. Л. Карпмана (1965).

менным увеличением упругоэластических свойств стенок артериальных стволов [Савицкий Н. Н., 1974]. Последнее хорошо согласуется с динамикой скорости распространения пульсовой волны по аорте. В наших исследованиях, проведенных в полете у 10 космонавтов, СРПВ по аорте (определялась по времени запаздывания СФГ бедренной артерии от момента закрытия аортальных клапанов на кинетокардиограмме) была на 18—20% ($p<0,05$) больше, чем в наземных обследованиях, а максимальный прирост достигал 60% (до уровня 11,0 м/с). Можно предположить, что увеличение СРПВ по аорте является следствием повышения упругоэластических свойств ее стенки, являющегося отражением регуляции физиологического соответствия между емкостью всего сосудистого русла и сниженной массой циркулирующей крови [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980].

Изменения со стороны венозной системы проявлялись увеличением кровенаполнения яремных вен, на что указывало повышение на югулярных пульсограммах пресистолической и диастолической волн. В подавляющем большинстве обследований давление в яремной вене превышало наземный уровень в 2—4 раза (увеличение в среднем с 4,2 до 12,4 мм рт. ст. в 1-м месяце и до 14,8 мм рт. ст. во 2—8-м месяце). Венозное давление в области голени у всех обследуемых космонавтов в полете снижалось в среднем на 50,5% (с 15—32 до 7,5—12,9 мм рт. ст.) и было практически одинаковым с венозным давлением в области предплечья.

Приведенные данные показывают, что в условиях невесомости уменьшается (или отсутствует) градиент венозного давления. Растяжимость венозного резервуара голени (время выхода кривой плетизмограммы голени на плато при окклюзии вен бедра) увеличивалась в среднем на 94,6% (максимально в 3 раза). Увеличение времени заполнения вен голени по сравнению с наземными условиями можно объяснить, по-видимому, двумя причинами. Во-первых, постоянные условия облегченного оттока крови из сосудов ног и развивающаяся при этом гиповолемия создают предпосылки для снижения экстраваскулярного тургора окружающих тканей и частичного спадения вен. При увеличении притока в них крови (в условиях венооклюзии или воздействия ОДНТ) требуется дополнительный объем крови для заполнения так называемой зоны свободной растяжимости [Folkow B., Mellander S., 1964], обусловленной увеличением площади сечения вен и переменой ее формы из уплощенной (эллипсоидной) в округлую. Во-вторых, депрессорные рефлекторные влияния, уменьшение симпатико-адреналовой активности, а также изменения местных механизмов аутогенной регуляции могут существенно понизить тонус вен, в результате чего увеличится их растяжимость [Vogt F., Johnson P. C., 1967]. По этим же причинам, по-видимому, в большинстве проведенных в полете измерений была снижена и сократимость вен голени. Указанные сдвиги показателей окклюзионной плетизмографии голени в обследованиях 1-го месяца были более выраженными, чем в более отдаленные сроки, что свиде-

тельствовало фазности процесса адаптации сосудистой системы к условиям полета.

Растяжимость вен предплечья в полете либо незначительно возрастала, либо не изменялась, в то время как их сократимость в большинстве случаев несколько увеличивалась по сравнению с предполетным уровнем, что указывало на сохранение в этой области достаточно высокого венозного тонуса. Артериальный приток в области предплечья увеличивался, а в области голени снижался.

Исследования американских авторов по программе «Скайлэб» также выявили в полете значительное уменьшение кровотока голени, увеличение растяжимости вен голени [Thornton W. et al., 1977]. Полученные данные, свидетельствующие об изменении венозного кровообращения, косвенно подтверждают предположение о возможности транзиторного увеличения внутригрудного давления, а также о возможности снижения ортостатической устойчивости вследствие увеличения потенциальной емкости венозного резервуара нижних конечностей.

Таким образом, в условиях длительного космического полета наблюдается развитие ряда закономерных изменений показателей гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла:

— тенденция к небольшому, но достаточно устойчивому увеличению ЧСС;

— укорочение фаз изометрического сокращения и расслабления и увеличение фазы быстрого наполнения;

— уменьшение некоторых показателей артериального давления (главным образом минимального и бокового систолического) при одновременном увеличении гемодинамического удара;

— увеличение скорости распространения пульсовой волны по аорте;

— снижение градиента венозного давления между верхней и нижней областями тела;

— увеличение растяжимости и емкости венозного резервуара голени при одновременном уменьшении показателей сократимости вен голени.

В условиях невесомости вследствие исчезновения гидростатического градиента давления крови и ее перемещения в краниальном направлении происходит увеличение трансмуральной абсорбции тканевой жидкости в областях тела, расположенных ниже уровня сердца (изменение уровня равновесия Старлинга), и снижение тканевого давления в области нижних конечностей. Одновременно возрастает трансмуральное давление в капиллярах областей тела, расположенных выше уровня сердца. Такое перераспределение жидкости и трансмурального давления, ощущаемое как прилив крови к голове, приводит к уменьшению объема нижних конечностей и развитию отечности тканей выше уровня сердца.

В начальном периоде пребывания в невесомости вследствие выхода тканевой жидкости в капиллярное русло ниже уровня

сердца, вероятно, увеличивается объем циркулирующей крови, повышается ее центральный объем, что в свою очередь может вызвать возрастание давления в сердечно-легочной области и растяжение центральных вен и предсердий. Это приводит к стимуляции механорецепторов кардиопульмональной области, что в свою очередь тормозит вазомоторный центр, снижает адренергические влияния и вызывает включение ряда рефлекторных приспособительных механизмов. С рецепторов легочных вен и левого предсердия возникает рефлекторное сужение легочных артериол [Парин В. В., Меерсон Ф. З., 1965], в результате снижается количество крови, притекающее к левому сердцу; с рецепторов правого предсердия и полых вен — рефлекторные реакции, обеспечивающие депонирование и уменьшение объема циркулирующей крови. Эти реакции реализуются с помощью описанного В. В. Париным разгрузочного рефлекса, проявляющегося увеличением объема селезенки при повышении давления в легочных сосудах. Увеличение депонирования крови наблюдается также при раздражении рецепторов правого предсердия и желудочка [Черниговский В. Н., 1960]. Раздражение рецепторов легочных вен может также привести к расширению сосудов большого круга. По-видимому, этим можно объяснить наблюдавшуюся во время длительных полетов тенденцию к снижению некоторых показателей артериального давления. Следовательно, описанные рефлекторно-приспособительные реакции связаны с торможением вазомоторных центров и повышением тонуса блуждающих нервов и направлены на ограничение притока крови к сердечно-легочной области [Shepherd J., 1974].

Другой рефлекторный механизм обусловлен растяжением предсердий и ряда сосудистых областей возросшим венозным притоком и перемещением крови в краниальном направлении, что сопровождается удалением из организма кажущегося избытка жидкости и некоторых электролитов (возможно по механизму Генри—Гауэра).

В более позднем периоде (дни, недели, месяцы), вероятно, происходят изменения протекания нейрогуморальных реакций, в частности, уменьшается выраженность реакций с барорецепторов и адренергических реакций [Nicogossian A., Parker J., 1982]. В итоге устойчивость организма к воздействию силы тяжести снижается.

Описанная гипотетическая схема рефлекторных приспособительных реакций подтверждается некоторыми результатами исследований, выполненных после пилотируемых космических полетов.

После полета станции «Скайлэб» исследование крови выявило уменьшение объемов плазмы крови и массы эритроцитов, причем уменьшение объема плазмы в общем прогрессировало с увеличением продолжительности полетов [Nicogossian A., Parker J., 1982]. После длительных полетов по программе «Салют-6» — «Союз» также наблюдалось снижение, относительно предполетных данных, общей массы гемоглобина на 16—25%, косвенно указывающее на соответствующее уменьшение объема циркулирующей крови, поскольку содержание гемоглобина и эритроцитов в единице объема при этом не изменялось [Балаховский И. С., Легеньков В. И., Киселев Р. К., 1980].

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБ С ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Функциональная проба с дозированной физической нагрузкой (ДФН) на велоэргометре проводилась для оценки в условиях полета состояния сердечно-сосудистой системы и физической работоспособности космонавтов по изменению при нагрузке и после нее некоторых показателей биоэлектрической активности сердца, гемодинамики и фазовой структуры сердечного цикла.

В предшествующих полетах на орбитальных станциях «Салют» и «Скайлэб» были получены результаты, свидетельствующие о разнонаправленном характере реакций на физические нагрузки. В частности, у членов экипажа станции «Салют-1» отмечалось усиление выраженности гемодинамических реакций, что расценивалось как проявление физической детренированности организма [Дегтярев В. А. и др., 1974]. У членов экипажей станций «Салют-4» и «Скайлэб», у которых полет сопровождался относительно большим объемом физических тренировок, реакция сердечно-сосудистой системы на ДФН в целом существенно не отличалась от предполетной. Во всех случаях она резко усиливалась при возвращении на Землю [Дорошев В. Г. и др., 1977; Michel et al., 1974].

Можно было предполагать, что в невесомости реакция на ДФН зависит главным образом не столько от длительности полета, сколько от вида и объема тренировок, а также соблюдения оптимального режима труда и отдыха.

На первых этапах изучения адаптации человека к длительной невесомости необходимо было выяснить, существует ли принципиальное различие в характере реакции на ДФН в наземных условиях и в невесомости.

Как известно, физическая нагрузка приводит к усилению адренергических влияний на сердце, что проявляется положительными инотропными и хронотропными эффектами. Вследствие этого наблюдается повышение ЧСС, объемов гемоциркуляции, рефлекторное повышение тонуса емкостных сосудов, ускорение венозного кровотока, что в сочетании с увеличением роли мышечного фактора в кровообращении обусловливает увеличение венозного возврата и приводит к развитию синдрома гипердинамии миокарда [Marshel R. D., Shöpherd J. T., 1972].

При нагрузке умеренной интенсивности, равной примерно 750—800 кгм/мин в течение 5 мин, в проводившихся нами исследованиях снижение физической работоспособности, как правило, сопровождалось усилением тахикардии, удлинением переходных

процессов врабатывания и восстановления, более выраженным фазовым синдромом гипердинамии миокарда, возрастанием систолического артериального давления, особенно гемодинамического удара, относительно небольшими изменениями скоростных показателей сердечной деятельности, в частности начальной скорости повышения внутрижелудочкового давления (СПВЖД).

В полетных обследованиях максимальные значения ЧСС при нагрузке превышали предполетный уровень на 1-м месяце у 2 космонавтов на 4—18 ударов в 1 мин и на 2—8-м месяце у 7 космонавтов — на 5—19 ударов в 1 мин, снижение примерно в тех же пределах наблюдалось соответственно у 3 и 4 космонавтов. Относительное повышение ЧСС (по отношению к исходным данным) во время нагрузки было выше предполетного на 1-м месяце в среднем на 13%, на 2—8-м месяце — на 4,4% ($p < 0{,}05$).

Максимальная ЧСС при работе была выше, чем до полета, у 8 и ниже у 4 из 17 космонавтов. У остальных членов экипажей она не изменялась. Поскольку мощность нагрузки в связи с колебаниями темпа педалирования не всегда выдерживалась в заданных пределах, рассчитывалось отношение суммарной величины ЧСС (за 5 мин) к величине выполненной работы (ЧСС/Р). Данный показатель до полета равнялся в среднем 0,148 уд/кгм, в пробах 1-го месяца полета у 8 из 10 обследуемых он уменьшился до 0,135 уд/кгм, а на 2—8-м месяце в 9 случаях увеличился и в 8 уменьшился (±6%), в связи с чем в среднем соответствовал предполетному. Следовательно, несколько более выраженная тахикардия в полетных пробах, особенно на 1-м месяце, была обусловлена увеличением объема выполняемой работы.

Изменения переходных процессов, в частности времени достижения ЧСС при нагрузке устойчивого состояния и возвращения ее к исходному уровню после прекращения нагрузки, характеризующие процессы врабатывания и восстановления, также указывали на сохранение достаточно хорошей работоспособности. Первый показатель даже несколько уменьшился, если до полета он составлял 166 с, то на 1-м месяце полета он у большинства космонавтов укорачивался до 138 с, а на 2—8-м месяце — до 145 с. Второй показатель в полете существенно не изменялся.

Однако у 3 космонавтов наблюдалось увеличение этого показателя до 210—240 с.

По данным электрокардиографических обследований в абсолютном большинстве случаев не было отмечено каких-либо признаков функциональной недостаточности миокарда. Вместе с тем у некоторых космонавтов в отдельных пробах регистрировались одиночные экстрасистолы. Обычно они появлялись на «высоте» нагрузки или в первые 1—2 мин после ее окончания. В ряде случаев отмечались преходящие изменения формы и амплитуды зубцов *T*, отличные от предполетных. При этом почти постоянно менялся и характер их динамики в периоде последействия — восстановление формы амплитуды происходило более медленно, чем до полета, в некоторых пробах не достигая исходного уровня к

Таблица 13

Изменения показателей гемодинамики при функциональной пробе с ДФН (на 1-й минуте восстановительного периода) у космонавтов во время космических полетов (M±m)

Показатели	До полета	Этапы полета			
		1-й месяц		2—8-й месяц	
	абсолютные величины	абсолютные величины	отклонение от величины до полета (%)	абсолютные величины	отклонение от величины до полета (%)
Максимальная ЧСС при нагрузке	122±2,4	119±5,0	—2	125±3,1	+2
МнАД (мм рт. ст.)	73±1,4	65±1,9	—12*	61±2,3	—16*
СрАД » » »	99±1,9	96±2,7	—3	93±2,5	—6*
БсАД » » »	119±2,5	120±3,0	+1	106±2,5	—10*
КсАД » » »	160±2,7	153±6,0	—4*	155±2,4	—3
ПАД » » »	55±1,0	54±4,0	+8	45±2,6	—10*
МС » » »	277±7,9	290±13,7	+5*	261±8,5	—6*
ИНМ (%)	27,7±2,4	27,6±2,7	0	25,9±2,9	—6
СПВЖД (мм рт. ст/с)	1763±74,4	1779±145,4	+1	1786±74,4	+1
МН (мс)	154±22,0	191±49,8	+24*	169±25,2	+10*
СРПВ (м/с)	8,8±0,38	10,2±0,61	+16	10,0±0,51	+14

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 12.

концу восстановительного периода. Увеличивалось расхождение между векторами *QRS* и *T*.

Изменение показателей фазовой структуры сердечного цикла в период ранней реституции (в течение 1 мин) у всех обследуемых обычно проявлялось до и во время полета по отношению к исходному состоянию покоя в уменьшении длительности сердечного цикла, механической систолы и диастолы. При этом по отношению к общей продолжительности сердечного цикла механическая систола, как правило, несколько удлинялась, а диастола укорачивалась. В систолический период происходило укорочение фазы изометрического сокращения и периода изгнания, а в период диастолы — укорочение фазы изометрического расслабления и периода наполнения главным образом за счет его медленной фазы. Длительность периода изгнания и механической систолы была меньше расчетных для данной продолжительности сердечного цикла на 7—15%. Значительно возрастала скорость повышения внутрижелудочкового давления.

Описанные изменения систолических фаз сердечного цикла (табл. 13, рис. 2) соответствовали фазовому синдрому гипердинамии миокарда, который развивается под влиянием симпатической нервной системы, в результате чего уменьшается время развития напряжения, укорочения и расслабления волокон миокарда и повышается эффективность работы сердца как насоса.

В полете длительность основных фаз систолы и диастолы в период ранней реституции по сравнению с предполетными вели-

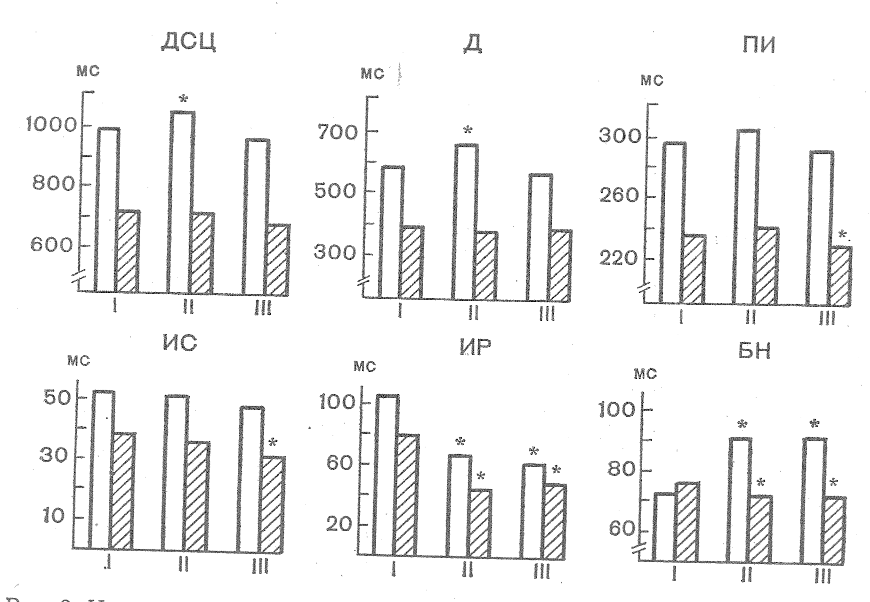


Рис. 2. Изменения средних величин показателей деятельности сердца при проведении функциональной пробы с дозированной физической нагрузкой до длительных полетов и во время них. Светлые столбики — до пробы; заштрихованные — на 1-й минуте восстановительного периода.
Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

чинами сохраняла свою относительную стабильность, в то время как внутри этих фаз происходила перестройка, обусловленная, по-видимому, изменившейся под влиянием невесомости внутрисердечной гемодинамикой. Во множестве случаев на 1-м месяце полета при малых изменениях абсолютных значений показателей более резко, чем до полета, укорачивалась по сравнению с условиями покоя длительность сердечного цикла, диастолы и периода наполнения. В последующие же этапы полета в несколько большей степени укорачивались механическая систола и фаза изометрического сокращения, а также уменьшались длительность периода изгнания и отношение его к должным значениям. Одновременно с этим у 11 из 15 космонавтов более резко относительно исходного уровня возрастала начальная скорость повышения внутрижелудочкового давления. Длительность фазы изометрического расслабления в полетных пробах была на 38—43% ($p<0{,}05$) меньше, чем до полета. В укорочении периода наполнения в отличие от предполетной динамики более заметную роль стало играть уменьшение длительности фазы быстрого наполнения, которая до полета под влиянием нагрузки в большинстве случаев увеличивалась на 9—29% и только в 3 снижалась на 11—23%. В полете же эта фаза уменьшалась у подавляющего числа обследованных на 3—48% (в среднем на 21%) и только у 2 космонавтов она увеличивалась.

Можно предполагать, что указанные изменения показателей фазовой структуры левожелудочкового цикла явились отражением общей гемодинамической реакции на нагрузку в условиях невесомости: с одной стороны, проявлявшейся менее выраженным, чем на Земле, увеличением под влиянием физической работы венозного возврата крови к сердцу и нагрузки его объемом, а с другой — усилением рефлекторных адренергических влияний на миокард, возникающих в результате относительного уменьшения объема циркулирующей крови.

Изменения параметров артериального давления под влиянием нагрузки были менее выраженными, чем изменения параметров артериального давления в наземных условиях, и носили умеренный характер. В пробах, проводившихся в период 2—8-го месяца, различия с данными, полученными перед полетом предполетными данными заметно сгладились.

В полетных обследованиях величины минимального артериального давления на 1-й минуте после нагрузки у большинства космонавтов, за исключением 4 случаев, были в среднем на 8—12 мм рт. ст., или на 12—16%, меньше предполетных значений ($p<0{,}05$). В пробах на 2—8-м месяце полета отмечалось небольшое, но статистически достоверное снижение также среднединамического, бокового, систолического и пульсового артериального давления. При этом более выраженно увеличивалась СРПВ (по аорте) (до полета в среднем до 8,8 м/с, в полете до 10,2 м/с, $p>0{,}05$).

При проведении двухступенчатой пробы с ДФН у одного из космонавтов ЧСС при первой и второй нагрузках ни в одной из полетных проб существенно не отличалась от предполетных данных. По сравнению с наземными изменениями уменьшалось время переходных процессов в динамике ЧСС. PWC_{170} существенно не изменялся. Следовательно, реакция на нагрузку у данного обследуемого соответствовала наземной.

У 2 других космонавтов на различных этапах полета (у одного главным образом в пробах первой, а у другого — второй половины полета) были отмечены более выраженные реакции, что проявлялось по ЧСС в более медленных, чем до полета, процессах врабатывания и восстановления (удлинение времени переходных процессов на 14—68%), повышением ЧСС, особенно при 2-й нагрузке, с превышением предполетного уровня на 8—23%, заметным снижением показателя физической работоспособности (снижение PWC_{170} у одного космонавта на 16—18%, у другого — на 10—19%). В период ранней реституции у всех 3 космонавтов минимальное и среднединамическое артериальное давление было на 8—12 мм рт. ст. ниже. Ряд признаков снижения переносимости проб более надежно определялся при выполнении второй ступени нагрузки и после нее, а также благодаря использованию показателя PWC_{170}.

В условиях невесомости особенности изменения сердечной деятельности и гемодинамики в периоде ранней реституции в тече-

ние 1 мин после дозированной физической нагрузки определялись, по-видимому, следующими моментами:

— снятием, как и в наземных условиях, на этапе ранней реституции напряжения венозных сосудов в конечностях, принимавших и не принимавших участие в работе [Bevegard B., Shepherd J., 1965], но более интенсивным, чем на Земле, заполнением кровью венозного резервуара;

— обычным при наземных пробах перераспределением крови в сторону увеличения легочного объема [Harrison D. et al., 1963], однако в условиях невесомости, когда эта область и так переполнена кровью, возможно, большим по объему перемещением крови в венозное русло нижних конечностей. Предполагая существование в невесомости зон свободной растяжимости вен голени [Mellander S., Johansson B., 1968], можно допустить, что в этих условиях в периоде ранней реституции давление в легочной области снизится до более низкого уровня, чем в наземных условиях. Это может вызвать рефлекторное повышение адренергических влияний на систему кровообращения, которые ранее были активизированы физической нагрузкой, а как следствие — увеличение мощности сердечного сокращения с формированием фазового синдрома гипердинамии миокарда, но с несколько иным соотношением фаз сердечного цикла, чем при физической нагрузке на Земле.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБЫ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА НИЖНЮЮ ЧАСТЬ ТЕЛА

Под влиянием воздействия отрицательного давления на нижнюю часть тела (ОДНТ) в зоне декомпрессии происходит депонирование крови, объем которой, по данным А. Гайтона (1966), пропорционален растяжимости сосудистых стенок. Уменьшается эффективный объем крови, что обусловлено снижением тканевого давления и повышением трансмурального градиента давления крови в зоне декомпрессии, которое приводит к наполнению растяжимых емкостных сосудов и фильтрации плазмы в области капилляров [Nuter D. et al., 1969]. В результате уменьшается венозный возврат и кровенаполнение предсердий, желудочков и сердечно-легочной области, что вызывает ряд рефлекторных реакций с рецепторов предсердий, центральных вен и сердечно-легочной области [Zoller P. et al., 1972].

Уменьшение венозного возврата и кровенаполнения желудочков приводит к уменьшению ударного объема сердца и к компенсаторному увеличению ЧСС, периферического сопротивления и скорости распространения пульсовой волны по аорте, т. е. сосудистый тонус увеличивается. Снижение нагрузки объемом вызывает меньшее напряжение миокарда и в соответствии с законом Старлинга снижается мощность сердечного сокращения, что наблюдается, по данным В. Л. Карпмана (1965), и при ортостатических воздействиях.

Проба с воздействием ОДНТ, по мнению И. Д. Пестова и Б. Ф. Асямолова (1972), E. Brown и соавт. (1966), имитирует гравитационное перераспределение крови.

Как показали исследования В. Г. Волошина и соавт. (1973), J. Hordinsky и соавт. (1980), F. Musgrave и соавт. (1971) и других авторов, изменениям ряда показателей гемодинамики (ЧСС, артериального давления, объемов гемоциркуляции и периферического сопротивления) при ортостазе соответствуют изменения показателей при ОДНТ = —50—60 мм рт. ст.

Обследования космонавтов, проводившиеся на станциях «Салют-1», «Салют-4» и «Салют-5», а также на американской станции «Скайлэб», выявили в полете существенное усиление реакции сердечно-сосудистой системы на воздействие ОДНТ [Дегтярев В. А. и др., 1974, 1977, 1980; Johnson R. et al., 1977]. Уже на ранних этапах полета это проявлялось в более выраженном, чем в наземных условиях, увеличении ЧСС, снижении объемов гемоциркуляции, увеличении объема голени. У американских астронавтов было зафиксировано около 13 случаев, когда создавалась угроза развития коллапса (использовалась вакуумная емкость с седлом и разрежение от 8 до 50 мм рт. ст.). При этом ни один из указанных случаев не приходился на период времени, близкий к пробуждению, что связывалось с перемещением во время сна некоторого объема венозной крови из верхних отделов тела в нижние с заполнением относительно запустевших в период бодрствования емкостных сосудов ног и уменьшением зоны свободной растяжимости [Johnston R. et al., 1977].

Представленные в настоящей работе результаты получены при воздействии ОДНТ = —35 мм рт. ст. в течение 3 мин при упоре ногами в дно вакуумной емкости, а у 3 из 17 космонавтов результаты традиционных проб дополнены данными, зафиксированными при разрежении —45 мм рт. ст. в течение 3 мин.

Реакция на воздействие ОДНТ = —35 мм рт. ст. в целом сопровождалась в наземных и полетных пробах сходными по своей направленности изменениями показателей сердечно-сосудистой системы (относительно данных до пробы) (табл. 14, рис. 3).

На ЭКГ, как правило, наблюдались характерные индивидуальные изменения временных и амплитудных показателей, которые соответствовали дополетным. В качестве особенности изменения ЭКГ в конце длительных полетов или при пробах, переносимость которых была по данным гемодинамических реакций снижена, следует отметить преходящее уплощение зубцов *T*.

Изменения сердечной деятельности проявлялись в предполетных и полетных пробах в увеличении ЧСС, соответственным укорочением длительности сердечного цикла и взаимосвязанных с ним показателей фазовой структуры: механической систолы, диастолы, периода наполнения и, в частности, медленной его фазы. Длительность изометрических фаз сокращения и расслабления увеличивалась, а периода изгнания уменьшалась. Длительность фазы быстрого наполнения в полете уменьшалась, в то время как

Таблица 14

Изменения показателей гемодинамики при функциональной пробе с воздействием ОДНТ при —35 мм рт. ст. у космонавтов во время космических полетов (M±m)

Показатели	До полета	Этапы полета: 1-й месяц, абсолютные величины	1-й месяц, отклонение от величины до полета, %	2—8-й месяцы, абсолютные величины	2—8-й месяцы, отклонение от величины до полета, %
ЧСС (в 1 мин)	76±6,3	71±3,0	—6	83±2,3	+9*
МнАД (мм рт. ст.)	67±1,3	63±1,4	—6*	61±1,2	—9*
СрАД » » »	87±1,6	85±2,3	—2*	84±1,3	—4
БсАД » » »	99±1,9	100±3,1	—1	96±2,1	—3
КсАД » » »	124±1,4	121±3,5	—3	126±1,7	+2
ПАД » » »	33±1,3	35±2,4	+6	36±1,5	+8
МС » » »	306±4,9	312±6,5	+2	289±6,5	—6*
ИНМ (%)	34,2±1,1	31,8±2,3	—7	34,9±1,1	+2*
СПВЖД (мм рт. ст/с)	1026±59,2	932±55,3	—9*	1000±43,1	—3
МН (мс)	190±28,7	356±38,4	+87*	184±36,1	—3
СРПВ (м/с)	6,6±0,28	8,9±0,45	+35*	9,6±0,53	+45*

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 12.

в пробах до полета она увеличивалась одновременно с величинами УО и МОК, начальной скоростью повышения внутрижелудочкового давления и средней скоростью изгнания крови левым желудочком. Предположительно уменьшение венозного возврата, центрального объема крови и последующее снижение давления наполнения желудочков сердца, связанные, возможно, с увеличением растяжимости левого желудочка, приводят к удлинению времени расслабления миокарда.

Уменьшение мощности сердечного сокращения, сочетающееся с уменьшением венозного возврата, вероятно, обусловливает уменьшение роли функции нагнетания и увеличение удельного веса присасывающей функции сердца в кровенаполнении желудочков, что проявлялось в наземных пробах удлинением фазы быстрого наполнения.

Минимальное и среднединамическое артериальное давление незначительно увеличивались или существенно не изменялось, боковое и конечное систолическое артериальное давление, а также пульсовое давление умеренно снижалось. Увеличивались значения удельного периферического сопротивления и СРПВа.

В условиях невесомости реакции со стороны сердечно-сосудистой системы на воздействие ОДНТ имели ряд характерных особенностей.

Так, по сравнению с предполетными данными в пробах 1-го месяца полета ЧСС при разрежении в среднем была меньше на 6% (из 11 обследованных у 5 она снизилась и у 3 повысилась), однако относительный ее прирост у большинства космонавтов

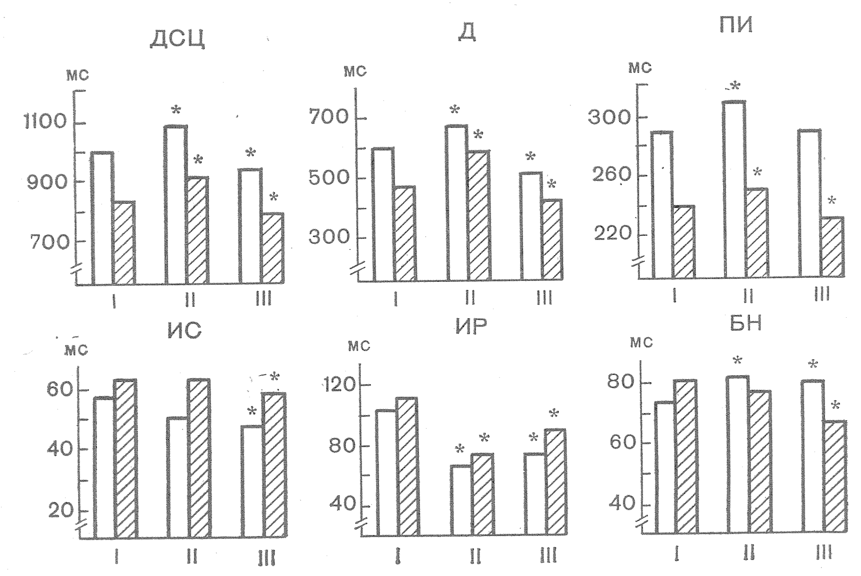


Рис. 3. Изменения средних величин показателей деятельности сердца при воздействии ОДНТ=—35 мм рт. ст. до и во время длительных полетов.

Светлые столбики — до пробы; заштрихованные — при воздействии разрежения. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

повысился (до полета прирост составил 19%, на 1-м месяце полета — 26%). В большем числе случаев возросла также степень относительного удлинения под влиянием ОДНТ фазы ИС (до полета на 11%, в полете на 26%), хотя абсолютная ее длительность не изменилась. Уменьшился абсолютный уровень СПВЖД (на 9%, $p<0,05$) и более однонаправленно понижались ее значения относительно данных до пробы. Статистически достоверно увеличилась относительно предполетных данных длительность зависимых от ДСЦ фаз диастолы (на 26%), периода наполнения (на 48%) и медленного наполнения (на 87%). Длительность фазы ИР по сравнению с предполетной уменьшалась (со 109 до 72 мс, $p<0,05$). Изменения фазы БН у большинства обследуемых в полетных пробах приобрели противоположную направленность (до полета фаза БН удлинялась в среднем на 9%, в полете укорачивалась на 9%).

В пробах 2—8-го месяца полета в отличие от данных 1-го месяца абсолютная ЧСС при ОДНТ повысилась в среднем на 9% (из 17 космонавтов у 11 она увеличилась и у 2 уменьшилась), однако ее относительное повышение у большинства обследуемых существенно не отличалось от предполетного. Изменения зависимых от ДСЦ фаз диастолического периода относительно предполетных данных были статистически недостоверны. Абсолютные значения ИР и БН оставались меньше предполетного уровня на 17% ($p<0,05$), а их относительные сдвиги под влиянием ОДНТ, сохраняя ту же направленность, что и в пробах 1-го месяца, за-

метно превысили сдвиги, наблюдавшиеся на первых этапах полета.

Следовательно, в условиях полета прослеживалась определенная фазность изменений показателей сердечной деятельности под влиянием разрежения. В большей степени это проявлялось повышением ЧСС и относительными сдвигами независимых от ДСЦ показателей систолы и диастолы — фаз ИС, ИР, БН, особенно в более отдаленные сроки полета.

Указанные изменения были связаны с тем, что уменьшение венозного возврата и центрального объема крови, по-видимому, оказывало влияние на внутрисердечную гемодинамику и приводило к перестройке фазовой структуры сердечного цикла в виде фазового синдрома гиподинамии миокарда, а также к удлинению времени расслабления левого желудочка.

Было отмечено, что объемы циркуляции, которые рассчитывались по формуле Бремзера—Ранке, у 10 космонавтов при воздействии ОДНТ во время полета были статистически достоверно ($p<0,05$) меньше предполетных величин (ударный объем сердца в среднем за 1 мес полета на 28%, за 2—8 мес на 35%, минутный объем кровообращения соответственно на 32 и 27%). При этом абсолютные величины средней скорости изгнания крови из левого желудочка сердца уменьшались на 32—35%.

Описанные изменения фазовой структуры сердечного цикла при ОДНТ в полете в сочетании с наблюдавшимся более выраженным уменьшением объемов гемоциркуляции и средней скорости изгнания крови из левого желудочка указывали на более значительную недогрузку сердца объемом крови в условиях невесомости.

Артериальное давление в среднем не претерпевало существенных отклонений от предполетных данных.

В большинстве случаев при воздействии ОДНТ в полете отмечался более низкий уровень минимального и бокового систолического давления.

При этом удельное периферическое сопротивление при воздействии ОДНТ в полете превышало предполетные значения у всех обследованных космонавтов (в среднем по группе на 29—30%, $p<0,05$) и в целом соответствовало должным величинам.

Скорость распространения пульсовой волны по аорте во время воздействия разрежения была в полете статистически достоверно ($p<0,05$) выше предполетных величин (на 1-м месяце на 35%, на 2—8-м месяце на 45%), а относительный прирост этого показателя на 1-м и 2—8-м месяце у большинства космонавтов увеличивался (в среднем соответственно 16 и 23% против 8% до полета).

При использовании наряду с ОДНТ=—35 мм рт. ст. также разрежения —45 мм рт. ст. у 2 космонавтов в полете отмечалось усиление реакции системы кровообращения. Следует отметить, что различие с наземными пробами проявлялось в значительно большей степени при ОДНТ=—45 мм рт. ст.

Если при меньшем уровне ОДНТ ЧСС в полете была в большинстве исследований выше уровня в наземных пробах в среднем только на 10—11%, то при ОДНТ=—45 мм рт. ст. на 16—23%. Использование больших режимов разрежения позволило высказать более достоверный прогноз в отношении послеполетной ортостатической устойчивости. Действительно, у 2 космонавтов, реакции которых при ОДНТ=—45 мм рт. ст. усиливались, послеполетная ортостатическая устойчивость заметно снизилась.

В тех случаях, когда проведению пробы с ОДНТ предшествовал прием водно-солевых добавок, реакция на разрежение проявлялась менее выраженно, чем без их приема, в частности, отмечалось менее выраженное увеличение ЧСС и диастолического артериального давления.

Таким образом, при воздействии ОДНТ во время космических полетов отмечалось некоторое увеличение реактивных ответов сердечно-сосудистой системы. По данным модельных исследований, к числу действующих и в условиях невесомости факторов, которые могут иметь значение для снижения ортостатической устойчивости, можно отнести относительную дегидратацию организма (уменьшение количества циркулирующей крови и межтканевой жидкости), снижение сосудистого и мышечного тонуса, детренированность механизмов венозного возврата, изменения катехоламинового и минералокортикоидного обмена, утомление и др. [Коваленко Е. А., 1974, 1976; McCally M., Roh S., Sampson, 1968].

В космическом полете в организме человека также уменьшался объем межтканевой жидкости и циркулирующей крови (на фоне предполагаемого увеличения объема крови в сердечно-легочной области), повышается растяжимость вен голени и снижается мышечный тонус [Газенко О. Г., Егоров А. Д., 1976, 1980; Nicogossian A., Parker, 1982].

Приложение отрицательного давления в полете вызывает большее, чем на Земле, перемещение крови из грудной полости в сосуды областей тела, расположенных в зоне декомпрессии. Это подтверждается большим увеличением при воздействии ОДНТ в полете объема голени [Johnson R. et al., 1977]. Причем наиболее быстрым в течение первых двух минут воздействия (—8 и —16 мм рт. ст.), что убеждает в существовании зоны свободной растяжимости вен. В результате венозный возврат и ударный объем снижаются еще больше, чем на Земле в аналогичных условиях.

Резкое уменьшение объема крови в сердечно-легочной области, по-видимому, рефлекторно увеличивает активность вазомоторного центра и вызывает усиление адренергического влияния [Shepherd J. T., 1974]. Более выраженное уменьшение ударного объема компенсируется увеличением ЧСС и сосудистого тонуса.

Описанная схема гемодинамических и рефлекторных сдвигов, возникающих в невесомости при воздействии ОДНТ, вызывает

перестройку фазовой структуры сердечного цикла и формирование синдрома функциональной гиподинамии миокарда.

Таким образом, особенности изменений реакций сердечно-сосудистой системы при воздействии функциональных проб в полете, вероятно, обусловлены изменением исходного уровня состояния гемодинамики в невесомости перед пробами (уменьшение объема циркулирующей крови при одновременном предполагаемом увеличении ее центрального объема, повышение растяжимости вен голени и возможное образование зон свободной растяжимости в этой области) и развивающимся на этом фоне под влиянием ОДНТ и в периоде ранней реституции после ДФН более выраженным уменьшением центрального объема крови с рефлекторным усилением адренергических влияний.

При выполнении функциональных проб на протяжении длительных космических полетов не выявлено отрицательной динамики показателей сердечной деятельности. Это означает, что при длительных полетах приспособительные возможности организма (его функциональные резервы) сохраняются на уровне, обеспечивающем достаточно хорошую регуляцию сердечной деятельности при выбранных величинах нагрузок. Отсюда возникает проблема выбора оптимальных величин нагрузок, с одной стороны, достаточных для выявления динамики физиологических реакций в полете и для прогнозирования послеполетных реакций, с другой — не отягощающих выполнение проб космонавтами. Во всех случаях через определенные промежутки времени происходило полное восстановление показателей гемодинамики, что указывало на их преходящий характер.

Изменения сердечно-сосудистой системы, которые наблюдаются во время и после космических полетов, в настоящее время рассматриваются как приспособительные реакции к условиям невесомости. Эти реакции сердечно-сосудистой системы можно предположительно распределить по патогенетическому признаку следующим образом:

1. Обусловленные гиперволемией верхних отделов тела: укорочение изометрических фаз сердечного цикла, относительное удлинение периода изгнания и фазы быстрого наполнения, увеличение давления в яремных венах.

2. Обусловленные включением разгрузочных рефлексов с рецепторных зон низкого давления: тенденция к уменьшению в полете некоторых показателей артериального давления и периферического сосудистого сопротивления.

3. Обусловленные гиповолемией нижних отделов тела: уменьшение артериального притока, снижение венозного давления и повышение растяжимости и объема вен в области голени.

4. Обусловленные снижением эффективного объема циркулирующей крови: при дозированной физической нагрузке ухудшение венозного возврата крови к сердцу, прессорная реакция (более выраженное увеличение СРПВ по аорте) магистральных и

периферических сосудов (увеличение минимального артериального давления).

5. Обусловленные увеличением емкости венозного русла нижних конечностей (зона свободной растяжимости и более массивное депонирование в нем крови): при проведении пробы с ОДНТ несколько более выраженное снижение минимального артериального давления, объемов гемоциркуляции, большее повышение ЧСС и скорости распространения пульсовой волны по аорте.

Все перечисленные сдвиги в гемодинамике и фазовой структуре сердечного цикла, имевшие место в условиях полета, носили функциональный (обратимый) характер.

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И РЕГИОНАРНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В КРАТКОВРЕМЕННЫХ И ДЛИТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ

Накопленный к настоящему времени фактический материал, позволяющий оценить гемодинамический статус организма во время пребывания космонавтов в условиях космического полета, достаточно широко представлен в работах отечественных и зарубежных авторов [Воробьев Е. И. и др., 1984; Газенко О. Г., Егоров А. Д., 1983; Егоров А. Д. и др., 1983, 1984; Hoffler G. W. et al., 1977; Johnson Ph. C. et al., 1977 Hoffler G. W., 1981, и др.]. Вместе с тем следует отметить, что в опубликованной литературе освещены в основном изменения ЭКГ, параметров артериального давления, показателей фазовой структуры сердечного цикла (систолы и диастолы) и крайне мало сведений о состоянии регионарного кровообращения. Оно, как известно из опыта клинико-физиологических наблюдений, принимает активное участие в развитии адаптивных реакций сердечно-сосудистой системы в экстремальных условиях [Яруллин Х. Х. и др., 1984; Васильева Т. Д. и др., 1983, 1984]. Это нашло подтверждение в данных, полученных при обследовании космонавтов после кратковременных и длительных космических полетов [Васильева Т. Д. и др., 1983; Яруллин Х. Х. и др., 1984], а также в немногочисленных результатах исследований, выполненных во время полетов [Турчанинова В. Ф., Домрачева М. В., 1980; Егоров А. Д. и др., 1983; Касьян И. И., 1983; Турчанинова В. Ф. и др., 1983; Воробьев Е. И. и др., 1984]. Были выявлены характерные для различных отделов сосудистой системы изменения кровенаполнения и тонуса регионарных сосудов, показана их определенная зависимость от продолжительности полета.

В ранее проведенных исследованиях недостаточно внимания уделялось изменениям основных показателей центрального кровообращения [ударного объема сердца (УО) и минутного объема кровообращения (МОК)] при выполнении дозированной физической нагрузки и состоянию кровообращения головного мозга при воздействии отрицательного давления на нижнюю часть тела.

Имеющиеся в литературе данные касаются полетов продолжительностью только до 3 мес. При этом они отражают в основном индивидуальные особенности каждого из космонавтов, поскольку небольшое количество наблюдений в отдельные сутки полета было недостаточным для их систематизации, обобщения и выявления каких-либо закономерностей.

Требовали уточнения вопросы, касающиеся изменений объемов гемоциркуляции в условиях невесомости, в том числе при функциональных нагрузках. В отношении наиболее распространенного до настоящего времени в практике космической медицины способа определения МОК по методу Бремзера—Ранке в литературе высказаны критические замечания, основанные на экспериментальных данных [Дорошев В. Г. и др., 1981]. Авторы отдают предпочтение реографической методике, как более динамичной и адекватно воздействию отражающей происходящие изменения.

В доступной нам литературе практически не представлены сведения о состоянии системы кровообращения на ранних этапах полета, т. е. в наиболее ответственный период адаптации организма к условиям невесомости, когда происходит формирование основных компенсаторно-приспособительных реакций и следует ожидать развития резких гемодинамических сдвигов.

Таким образом, изучение сердечно-сосудистой системы человека во время его пребывания в невесомости остается одним из важных направлений медицинского обеспечения космических полетов. Эти исследования необходимы в теоретическом плане и с практической точки зрения как в длительных космических полетах (особенно при увеличении их продолжительности), так и в кратковременных.

Задача настоящего исследования состояла в изучении общей направленности и анализе механизмов изменений объемов гемоциркуляции и показателей регионарного кровообращения в покое, а также в оценке компенсаторно-приспособительных возможностей на основе использования функциональных нагрузочных проб. Всего было обследовано 19 космонавтов из 10 экспедиций посещения ОС «Салют-6» (продолжительность полета составляла 7 сут) и 21 космонавт из 9 основных экспедиций в период выполнения ими длительных (65—237 сут) космических миссий на ОС «Салют-6» и «Салют-7».

Для решения поставленных задач использовался метод реографии с применением современной и перспективной ее модификации — тетраполярной реографии. Выбор именно реографии как метода изучения различных отделов сердечно-сосудистой системы, включая центральное кровообращение, базировался на многолетнем опыте клинической и космической медицины [Елизарова Н. А. и др., 1981; Яруллин Х. Х., 1983; Калиниченко В. В., Жернавков А. Ф., 1984; Яруллин Х. Х. и др., 1984; Nyboer J., 1950; Kubicek W. G. et al., 1966]. Проведение полиреографических исследований обеспечивало комплексное изучение показателей центрального и регионарного кровообращения, что было необходимо для составления более целостного представления о гемодинамической ситуации, развивающейся в организме человека во время космических полетов различной продолжительности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях покоя с помощью аппарата «Реограф-2», имеющего два функциональных канала, регистрировались реограмма туловища (в отведении рука—рука); продольные реограммы предплечья и голени (одновременно); реоэнцефалограмма (РЭГ) во фронтомастоидальном отведении симметрично справа и слева (одновременно). При проведении пробы с приложением отрицательного давления к нижней части тела (ОДНТ) до, во время и после окончания воздействия разрежения у всех обследованных космонавтов записывалась РЭГ, а у членов экипажей основных экспедиций ОС «Салют-7», кроме того,— реограмма туловища. При пробе с дозированной физической нагрузкой (ДФН) до и после работы на велоэргометре регистрировалась реограмма туловища. Методика проведения функциональных нагрузочных проб описана в предыдущем разделе.

Конструктивные особенности «Реографа-2» и методика работы с ним подробно изложены в ранее опубликованных работах [Турчанинова В. Ф., Домрачева М. В., 1980; Турчанинова В. Ф. и др., 1983]. Мы считаем целесообразным обратить внимание на некоторые использованные в данной работе особенности методики расшифровки и анализа реографических кривых. Они касаются прежде всего проведения относительного количественного анализа реограмм. Для количественной оценки анакротической части реографической кривой использовалась величина отношения переменной и постоянной составляющих импеданса тканей исследуемых областей (ППК) в условных единицах. В формулу расчета входило два параметра. В числителе — амплитуда основной волны реограммы (или артериальной ее компоненты при изменении формы), соответствующая равенству систолического притока крови и оттока ее в венозную систему и характеризующая переменную составляющую импеданса. При наличии признаков затруднения венозного оттока и усложнения структуры анакроты ее величина определялась как амплитуда первой вершины реограммы.

В знаменателе находилась амплитуда калибровочного сигнала, пропорционального величине постоянной составляющей импеданса. Передача обоих сигналов осуществлялась по одним и тем же каналам прибора, что в значительной степени сглаживало возможные технические погрешности при вычислении отношения между ними.

Для оценки тонуса регионарных сосудов применялись наиболее распространенные в практике реографических исследований показатели: относительная длительность анакротической

фазы реограммы (α/T), характеризующая тонус крупных сосудов; дикротический (ДКИ) и диастолический (ДСИ) индексы реограммы, характеризующие тонус преимущественно пре- и посткапиллярных сосудов (соответственно). Следует лишь отметить, что при расчетах величин ДКИ и ДСИ в формуле использовалась амплитуда основной волны реографической кривой, что дает более правильное представление о состоянии сосудов мелкого калибра [Жернавков А. Ф., 1979].

Межполушарная асимметрия пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга определялась как отношение соответствующего показателя для области левого полушария к одноименному показателю для области правого полушария (в процентах). Величина отношения, не превышающая 30%, считалась в пределах физиологической нормы [Яруллин Х. Х., 1983]. Большое внимание уделялось признакам, характеризующим состояние венозного оттока из области головы. Они подробно описаны в работах М. К. Осколковой и Г. А. Красиной (1980), Х. Х. Яруллина (1983) и других авторов.

По реограмме туловища рассчитывались по формуле А. А. Кедрова (1948) УО сердца и МОК. Кроме того, вычислялись фактическое удельное периферическое сопротивление ($УПС_ф$) и его отношение к должной величине ($УПС_{ф/д}$).

Полученные во время полетов данные сопоставлялись с результатами исследований, выполненных с помощью аналогичной аппаратуры в предполетный период, которые рассматривались как контрольные. До полета каждый космонавт был обследован не менее 2—3 раз по соответствующей программе (в покое и при воздействии функциональных нагрузок в виде проб с приложением отрицательного давления к нижней части тела и дозированной физической нагрузки. Дозированная физическая нагрузка в предполетных пробах выполнялась в положении космонавтов лежа на аналоге бортового велоэргометра.

Для анализа изменений показателей в покое использовались обобщенные данные специально запланированных полиреографических исследований и полученных перед функциональными пробами. При проведении пробы с приложением ОДНТ анализировались усредненные значения показателей, зарегистрированные на всем протяжении воздействия каждого режима разрежения (—35 мм рт. ст., —45 мм рт. ст.). При выполнении проб с дозированной физической нагрузкой оценивались изменения, возникающие на 1-й минуте после окончания работы (при проведении двухступенчатой пробы соответственно после каждой ступени нагрузки).

Для статистической обработки результатов применялся метод вариационной статистики с определением средней для каждой группы космонавтов величины показателей и достоверности изменений по Стьюденту. Группировали данные по кратковременным и длительным полетам, с выделением градаций 1-й месяц и 2—8-й месяц полета.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ПОКОЕ

Объемы гемоциркуляции в течение первой недели полета (в кратковременных полетах большая часть обследований проводилась на 2—3-е сутки) в большинстве случаев снижались или имели тенденцию к снижению по отношению к предполетному уровню: УО на 3—27% (и только у 3 космонавтов при повторных исследованиях на 5—7-е сутки он был увеличен на 9—15%); МОК в связи с одновременным урежением ЧСС (приблизительно у половины космонавтов) изменялся, как правило, более заметно (на 4—42%), иногда даже при отсутствии изменений УО.

В длительных полетах УО в течение 1-го месяца полета преимущественно увеличивался или не изменялся, а в дальнейшем (2—8-й месяц) его величина у 4 космонавтов закономерно увеличивалась (на 7—54%), а у остальных в основном снижалась или не отличалась от предполетной величины. В динамике МОК на всех этапах длительного космического полета преобладало его увеличение, особенно в более поздние сроки полета. Фактическое удельное периферическое сопротивление и его отношение к должной величине в течение 1-го месяца полета изменялись неоднозначно, а затем оба показателя были в основном снижены.

На фоне в целом незначительных отклонений показателей системной гемодинамики в невесомости выявлен отчетливый симптомокомплекс, указывающий на перераспределение пульсового кровенаполнения и тонуса регионарных сосудов. Эти изменения на 3-и сутки полета характеризовались увеличением у 4 из 5 космонавтов показателя пульсового кровенаполнения предплечья на 15—40% при одновременном статистически значимом снижении его в области голени (на 29%). Кроме того, в кратковременных полетах отмечено снижение тонуса крупных сосудов обеих областей, причем более заметно и статистически значимо в голени (показатели уменьшались соответственно на 20% и 27%). Для пре- и посткапиллярных сосудов предплечья была характерна дилатация. ДКИ реограммы предплечья уменьшался с $64{,}5 \pm 30{,}2\%$ до $13{,}8 \pm 1{,}12\%$, ДСИ — с $89{,}9 \pm 28{,}0\%$ до $27{,}7 \pm 1{,}18\%$ ($p < 0{,}05$). Показатели тонуса сосудов этого же калибра для областей голени у всех космонавтов изменялись в небольших пределах, ДКИ и ДСИ соответственно составляли: до полета $11{,}9 \pm 1{,}16\%$ и $25{,}1 \pm 1{,}59\%$, на 3-и сутки полета $13{,}1 \pm 2{,}36\%$ и $21{,}5 \pm 1{,}70\%$ (рис. 4).

В длительных полетах изменения показателей пульсового кровенаполнения и тонуса крупных сосудов голени, а также пре- и посткапиллярных сосудов предплечья проявились, как и в кратковременных полетах, статистически значимым ($p < 0{,}05$) их уменьшением по сравнению с предполетными величинами. Однако в количественном отношении изменения перечисленных показателей в длительных полетах были менее выраженными, чем на 3-и сутки кратковременных полетов. Во время 65—237-суточных полетов показатель пульсового кровенаполнения голени

7—1383

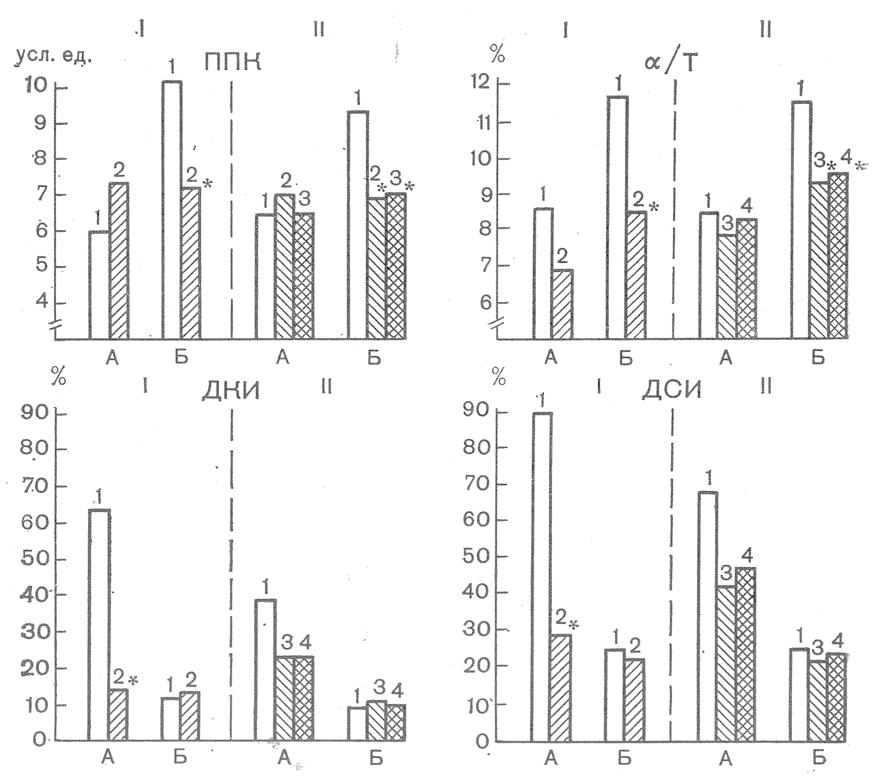


Рис. 4. Изменение показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов предплечья (А) и голени (Б) в покое во время кратковременных (I) (7 сут) и длительных (II) (65—237 сут) космических полетов.

ППК — показатель пульсового кровенаполнения; α/Т — показатель тонуса крупных и средних сосудов; ДКИ — показатель тонуса прекапиллярных сосудов; ДСИ — показатель тонуса посткапиллярных сосудов; 1 — до полета; 2 — 1-я неделя полета; 3 — 1-й месяц полета; 4 — 2—8-й месяцы полета.

* — изменения статистически достоверны.

уменьшался на 25—26% ($p<0,05$), а показатель тонуса крупных сосудов — на 17—19% ($p<0,05$). ДКИ реограммы предплечья в полете был равен 23,4±3,78% (до полета 39,0±6,09%), ДСИ — 42,4±4,58—46,7±3,91% (до полета 68,3±5,19%). Показатели тонуса мелких сосудов голени в длительных полетах практически не отличались от предполетных величин.

Показатель пульсового кровенаполнения сосудов предплечья в течение 1-го месяца полета преимущественно увеличивался (на 9—21%) при одновременном снижении тонуса крупных сосудов. В более поздние сроки полета (2—8-й месяц) закономерное увеличение пульсового кровенаполнения сохранялось только у трех космонавтов ОС «Салют-6», у остальных преобладало его снижение. Относительная длительность анакротической фазы реограммы предплечья почти у всех космонавтов ОС «Салют-6» была, как правило, ниже, а у космонавтов ОС «Салют-7», наоборот, выше, чем до полета.

Определенного внимания заслуживает сопоставление аналогичных показателей, характеризующих пульсовое кровенаполнение и тонус сосудов различного калибра верхних и нижних конечностей до и во время космических полетов (см. рис. 4). До полета наблюдалось статистически значимое различие между одноименными показателями пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов предплечья и голени. На Земле при обследовании в горизонтальном положении у обеих групп космонавтов (экспедиций посещения и основных экспедиций) показатели пульсового кровенаполнения и тонуса крупных сосудов были статистически значимо больше для области голени по сравнению с предплечьем (последовательно на 45—68% и 30—35%). В то же время соотношение показателей тонуса мелких артерий, артериол и вен верхних и нижних конечностей имело противоположную направленность. ДКИ и ДСИ были статистически достоверно ($p<<0,001$) выше для реограммы предплечья.

В невесомости соотношение между всеми перечисленными показателями существенно изменилось, причем количественные характеристики этих изменений зависели от длительности полета. Так, в кратковременных полетах значения показателей пульсового кровенаполнения предплечья (7,3±0,99 усл. ед.) и голени (7,2±0,96 усл. ед.), ДКИ (13,9±1,12% и 13,1±2,36%) и ДСИ (27,7±1,19% и 21,5±1,59%) соответственно реограмм предплечья и голени свидетельствовали о практическом выравнивании одноименных показателей гемодинамики в области верхних и нижних конечностей. Разница между относительной длительностью анакротической фазы реограммы голени (8,5±0,65%) и предплечья (6,9±0,53%) в кратковременных полетах сохранилась, но степень ее выраженности по сравнению с Землей уменьшилась с 35% до 23% ($p<0,01$).

В длительных полетах в течение 1-го месяца полета показатель пульсового кровенаполнения голени у 4 космонавтов был выше (на 11—20%), а у 4 космонавтов ниже (на 10—26%), чем для предплечья. В течение 2—8 мес полета у 5 космонавтов ОС «Салют-6» показатель пульсового кровенаполнения голени всего на 12—22% превышал аналогичный показатель для предплечья (при 45%, $p<0,01$ до полета). У 3 космонавтов ОС «Салют-7» его величина для голени была заметно больше (на 42—128%). В одном случае (ОС «Салют-7») она оставалась сниженной (на 53%), в остальных — возвращалась к предполетному уровню. Соотношение между показателями тонуса сосудов всех калибров во время 65—237-суточных полетов имело направленность, выявленную при проведении предполетных обследований. Иными словами, в полете для предплечья были характерны более высокие значения показателей тонуса мелких сосудов, а для голени — показателей тонуса крупных сосудов. Однако в условиях невесомости эта разница оказалась менее выраженной и сохранялась приблизительно в одинаковой степени на всем протяжении (от 1 до 2—8 мес) длительных полетов.

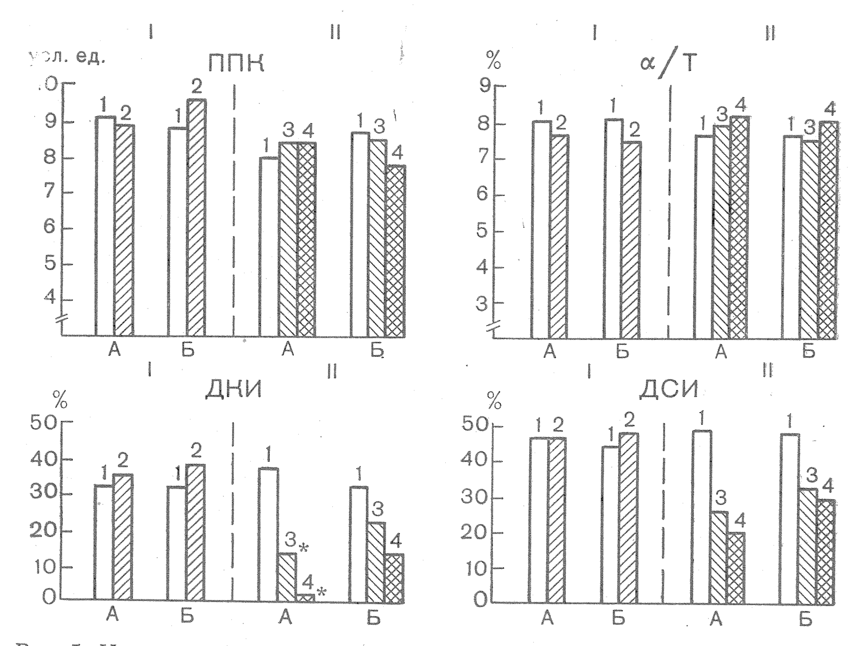


Рис. 5. Изменение показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов головы (бассейн внутренней сонной артерии) в покое во время кратковременных (I) (7 сут) и длительных (II) (65—237 сут) космических полетов.

А — правое полушарие; Б — левое полушарие. Остальные обозначения те же, что на рис. 4.

В кратковременных полетах преобладали индивидуальные особенности изменений кровообращения в бассейне внутренней сонной артерий (слева и справа).

Показатель пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга как в кратковременных, так и в длительных полетах у разных космонавтов изменялся неоднозначно. У членов экипажей экспедиций посещения изменения распределились приблизительно в равной степени в сторону увеличения или уменьшения. Для длительных полетов было характерно преимущественное увеличение показателя кровенаполнения у космонавтов ОС «Салют-6» (чаще в области правого полушария) и снижение у космонавтов ОС «Салют-7». До полета межполушарная асимметрия (если наблюдалась) характеризовалась в большинстве случаев более высокими значениями показателей для левого полушария. В полетах, особенно длительных, их величины были в основном выше для области правого полушария.

ДКИ и ДСИ РЭГ обоих полушарий, зарегистрированные в течение первой недели полета, несмотря на достаточно большой диапазон колебаний, в целом указывали на нормотонический тип реоэнцефалографической кривой в этот период полета (рис. 5).

В длительных полетах тонус крупных сосудов головного мозга изменялся в небольших пределах. Одновременно закономерно

и существенно снижался тонус мелких сосудов при нормотоническом, как правило, состоянии пре- и посткапилляров этой области на Земле, что нашло отражение в статистически значимом уменьшении ДКИ и ДСИ РЭГ. Признаки вазодилатации несколько нарастали от 1-го месяца ко 2—8-му месяцу полета и оказались более выраженными справа. Для области левого полушария изменения показателя тонуса прекапиллярных сосудов были более умеренными. Количественные изменения ДСИ РЭГ не всегда соответствовали отклонениям ДКИ, что вызывало в определенной степени нарушение функционального равновесия между состоянием пре- и посткапиллярных сосудов в бассейне внутренней сонной артерии.

Почти у всех космонавтов во время полета на РЭГ отмечалось появление или заметное увеличение амплитуды венозных волн (в тех редких случаях, когда они регистрировались до полета), синхронных по времени с предсердным комплексом ЭКГ. Они наблюдались чаще и с большей амплитудой справа и проявлялись резкой трансформацией формы РЭГ со смещением инцизуры к изоэлектрической линии, а иногда даже ниже ее.

Выявленные в длительных космических полетах индивидуальные особенности в динамике того или иного показателя, характеризующего кровенаполнение и тонус сосудов головного мозга, нередко зависели от продолжительности полета.

В настоящее время пока еще сложно установить конкретные механизмы гемодинамических сдвигов, возникающих в организме человека в условиях космического полета. Трактовка многих из них носит гипотетический характер. Анализ результатов проведенных исследований базировался на достаточно обоснованном на данном этапе развития космической медицины представлении, что основным фактором, определяющим изменение функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека в условиях космического полета, является невесомость [Газенко О. Г., 1984; Blomquist C. G., 1981]. В генезе влияния невесомости на организм человека можно выделить несколько аспектов, среди которых наиболее подробно теоретически разработана и получила экспериментальное подтверждение гипотеза о роли снятия гидростатического давления и обусловленного этим перемещения жидких сред, в том числе крови, в краниальном направлении [Воробьев Е. И. и др., 1981; Коваленко Е. А., Касьян И. И., 1983; Dietlein L. E., 1977; Howard P., 1977]. Перераспределение крови приводит в начальном периоде пребывания в невесомости к увеличению притока венозной крови к сердцу, растяжению центральных вен и предсердий, увеличению центрального объема циркулирующей крови. При этом следует учесть, каков бы ни был общий объем крови в условиях невесомости, легочное кровообращение должно реагировать так, как будто общий объем увеличен. Возникающая гемодинамическая ситуация воспринимается организмом как увеличение объема циркулирующей крови. Повышается трансмуральное давление в легочной артерии и цен-

тральное венозное давление на 8—13 и 12—18 мм рт. ст. соответственно [Bondi K.. R. et al., 1976; Pace N., 1977].

Увеличенный венозный возврат крови к сердцу должен теоретически привести к увеличению УО. Однако в связи с увеличением объема крови в сердечно-легочной области происходит активация рецепторов предсердий и центральных вен вследствие включения адекватных физиологических рефлекторных реакций, направленных на удаление кажущегося избытка жидкости.

В развитии адаптивных реакций важное значение имеют выраженность первоначально возникающих гемодинамических сдвигов и временной фактор. Так, гиперволемия сердечно-легочной области более рельефно проявилась в условиях иммерсии по сравнению с постельным режимом. Степень изменений в антиортостатическом положении была больше, чем в горизонтальном положении [Лобачик В. И. и др., 1975], когда объем крови в центральных сосудистых областях увеличился на 400—600 мл [Sjostrand T., 1959; Bevegard B. S. et al., 1960].

Экспериментальные данные позволили установить, что эффект увеличения венозного возврата, вызывающего увеличение диастолического наполнения сердца и соответственно увеличение УО (и МОК), наблюдается только в первые часы и сутки пребывания человека в условиях, имитирующих влияние невесомости (иммерсия, клино- или антиортостатическое положение). После перехода в горизонтальное положение наибольшее увеличение объема крови в верхней половине туловища происходило через 4 ч, при иммерсии гиперволемия зафиксирована уже через 20—30 мин после погружения [McCally M. et al., 1964]. В. Е. Катков и соавт. (1984) во время 7-суточной антиортостатической гипокинезии обнаружили тенденцию к уменьшению активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы начиная с 2—3-го часа экспериментального периода и связывали эти изменения прежде всего с увеличением давления в системе легочной артерии, в частности в мельчайших венах. Результаты, полученные K. H. Hyatt (1970), L. B. Jacobson и соавт. (1974), K. H. Hyatt, D. A. West (1977), также свидетельствуют о развитии эффектов разгрузочных рефлексов с первых часов пребывания космонавтов в невесомости.

Можно предположить, что невесомость является более мощным воздействием по сравнению с факторами, имитирующими ее влияние на Земле. Поэтому в невесомости возможно большее перемещение крови в верхнюю половину туловища и перерастяжение полостей сердца и как результат более выраженное изменение афферентации с расположенных здесь рецепторных зон. По-видимому, к моменту первого обследования, проведенного на 2—3-и сутки полета, наступала относительная стабилизация процесса с установлением более низкого уровня ОЦК и обусловленного им (в той или иной мере) снижения УО. Именно такая закономерность в динамике УО была выявлена у большинства из космонавтов экспедиций посещения. Вместе с тем эти изменения

даже на ранних этапах полета могли в определенной степени маскироваться стрессовой ситуацией [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980].

Снижение МОК в кратковременных полетах, возможно, было вызвано не только уменьшением УО, но также и урежением ЧСС как проявления повышенного тонуса блуждающего нерва и включения разгрузочных рефлексов при увеличении давления в сердечно-легочной области. Тенденция к уменьшению ЧСС в полете уже наблюдалась при выполнении космических полетов членами экипажей ОС «Салют-4» и «Салют-5» в случае отсутствия стрессовых ситуаций [Гуровский Н. Н. и др., 1974]. Тогда авторы высказали предположение, что невесомость, если ее влияние не осложняется нервно-эмоциональным напряжением и не купируется применением профилактических средств, вызывает преобладание тонуса блуждающего нерва. Выявленная в наших исследованиях отчетливая тенденция к урежению ЧСС в первую неделю полета могла быть также обусловлена депрессорным рефлексом при переполнении кровью сонных артерий [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980].

Вместе с тем можно предположить, что имевшее место у некоторых из космонавтов экспедиций посещения увеличение ЧСС было проявлением рефлексов с устья полых вен. Возможность развития такой ситуации показана экспериментально при имитации некоторых эффектов невесомости. При ограничении двигательной активности возникает довольно сложный комплекс противоположных рефлекторных влияний, которые строго согласованы в обычных условиях жизнедеятельности. Причем по мере увеличения длительности постельного режима проявляются те или иные стороны рассогласования хорошо сбалансированных взаимодействий сердечных и сосудистых рефлексов [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980].

Отсутствие закономерных изменений показателей центрального кровообращения в длительных полетах можно объяснить, по-видимому, значительным влиянием на их величину, помимо самой невесомости, таких факторов космического полета, как нервно-эмоциональное напряжение, операторская деятельность, предшествующая обследованию, характер и объем профилактических мероприятий, режим труда и отдыха, среда обитания, психологический климат и многие другие, к тому же в сочетании с индивидуальными особенностями каждого из членов экипажей. К сожалению, эти факторы не всегда могут быть учтены при анализе выявленных изменений. Однако известно, что каждый из них, а тем более в совокупности, оказывает влияние, нередко достаточно существенное, на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы человека.

Умеренное снижение фактического удельного периферического сопротивления, особенно в течение 2—8 мес полета, можно рассматривать как проявление депрессорных влияний и снижения симпатической адренергической активности [Парин В. В., 1946;

Bevegard B. S. et al., 1960; Lamb L. E., 1964] в результате подавления активности вазомоторного центра. Последнее происходит под влиянием раздражения механорецепторов сердечно-легочной области при увеличении давления в ней. Развитию более резких реакций может противостоять компенсаторное действие каротидных рефлексов.

Выявленные в настоящем исследовании изменения пульсового кровенаполнения и тонуса регионарных сосудов также могут рассматриваться с точки зрения гипотезы о роли гидростатического давления крови в гемоциркуляции. Снижение функции скелетных мышц, уменьшение функциональной нагрузки на антигравитационную мускулатуру и соответственно изменение афферентной импульсации с механорецепторов, характерные для невесомости, могут служить основными причинами увеличения пульсового кровенаполнения сосудов предплечья (на ранних этапах полета) при одновременном уменьшении его в голени. Эти же причины могут обусловить такие сосудистые реакции, как снижение тонуса крупных сосудов верхних и нижних конечностей, а также тонуса мелких артерий, артериол и вен предплечья.

Показательно, что отмеченные в невесомости гемодинамические сдвиги в области предплечья и особенно в голени наиболее отчетливо проявились на 3-и сутки полета, когда еще не сформировался новый стереотип двигательной активности и преимущественное влияние на систему кровообращения в целом, и в данном случае на ее периферические отделы, имела непосредственно невесомость с отсутствием гидростатического давления крови и возникающими при этом адаптационно-компенсаторными рефлекторными реакциями. При длительном пребывании космонавтов на борту орбитальной станции повышение функциональной нагрузки на мышечные группы (в частности, перемещение по станции преимущественно с помощью рук, большой объем работ, связанных с профессиональной деятельностью по выполнению программы полета) могло способствовать нормализации пульсового кровенаполнения и тонуса крупных сосудов предплечья и частичному восстановлению (относительно предполетного состояния) тонуса пре- и посткапилляров. Эти изменения сохранялись практически на одном уровне на всем протяжении длительных космических полетов.

Снижение пульсового кровенаполнения сосудов голени на всем протяжении длительных полетов, возможно, было вызвано и изменением энергетического баланса мышц вследствие практически полного отсутствия нагрузки на мышцы нижних конечностей в невесомости (за исключением комплекса физических тренировок). Физические упражнения, в частности, для ног, по-видимому, оказывали нормализующее влияние на пульсовое кровенаполнение и тонус крупных сосудов голени в длительных космических полетах (по сравнению с изменениями в первую неделю полета). Нельзя исключить также положительное влияние проб с воздействием ОДНТ, поскольку известно, что депонирование

крови в нижней половине тела оказывает тренирующий эффект на сосуды нижних конечностей.

Практическое отсутствие в невесомости изменений показателей тонуса пре- и посткапиллярных сосудов голени обусловлено тем, что предполетное обследование проводилось при соблюдении космонавтами строго горизонтального положения, которое в определенной мере имитирует гемодинамические сдвиги в невесомости. Этим эффектом исследователи широко пользуются на том основании, что в горизонтальном положении основные магистральные сосуды, расположенные вдоль оси тела, становятся перпендикулярными к вектору гравитации и гидростатическое давление практически снимается.

Совокупность изменений гемодинамики в области верхних и нижних конечностей, выявленных в настоящих исследованиях и другими авторами [Егоров А. Д. и др., 1986], показывает, что в невесомости при отсутствии гидростатического давления крови происходит уменьшение градиента давления не только в венозной системе, но и в артериальной системе большого круга кровообращения. В этих условиях вероятно более равномерное распределение векторов сердечного выброса, что нашло отражение в выравнивании одноименных показателей кровенаполнения и тонуса сосудов предплечья и голени на первой неделе полета и установлении иного по сравнению с Землей соотношения между ними в длительных космических полетах.

Изменения в системе мозгового кровообращения (бассейн внутренней сонной артерии) предположительно имеют следующий генез. Отток жидкости из нижней половины тела в краниальном направлении начинается сразу после перехода в состояние невесомости. По данным, основанным на фотоснимках во время полетов по программе «Скайлэб», шейные и черепные вены становятся растянутыми с самого начала действия невесомости и сохраняются в таком состоянии на всем протяжении полета. Косвенно это указывает на повышение венозного давления в верхних отделах сосудистой системы в связи с отсутствием гидростатического давления крови. По мнению C. F. Sawin и соавт. (1977), избыток крови, даже «кажущийся», в области легких поступает главным образом в крупные системные вены.

С повышением системного венозного давления наблюдаются существенные изменения амплитуды и формы пульсовых волн. Ю. Е. Москаленко и Г. Б. Вайнштейн (1977), анализируя особенности регуляции мозгового кровообращения, пришли к выводу, что на фоне нормального уровня давления форма внутричерепного пульса идентична колебаниям артериального давления; при повышении системного венозного давления, вызванного гиперволемией, форма внутричерепного пульса сходна с венозной пульсацией.

Наличие выраженных венозных волн на РЭГ, синхронных по времени с предсердным комплексом ЭКГ, может быть одним из признаков венозного застоя и повышения центрального веноз-

ного давления в условиях невесомости [Яруллин Х. Х., 1983]. Рассматривая реоэнцефалограмму с точки зрения двухкомпонентного метода анализа реограммы [Соколова И. В., Яруллин Х. Х., 1983], такие изменения формы РЭГ свидетельствуют об увеличении роли венозной компоненты в формировании РЭГ-волны, т. е. об усилении венозной пульсации. По мнению указанных авторов, венозную пульсацию можно разделить на две фазы. Первая (положительная) фаза отражает преобладание притока крови в венозное русло из отдела высокого давления. В течение второй (отрицательной) фазы происходит возврат кровенаполнения венозного русла к исходному (диастолическому) за счет оттока крови в сердце. Развитие обеих фаз в норме наблюдается в течение одного кардиоцикла. При затруднении венозного оттока из области головы убывание венозной компоненты РЭГ-кривой (до исходного значения) может происходить во время систолической фазы следующего кардиоцикла, что достаточно часто отмечалось в полете. Кроме того, экспериментальные исследования показали, что венозная волна на РЭГ отражает не только общие гемодинамические сдвиги, но и локальные изменения внутричерепного венозного кровообращения, так как она нередко регистрируется только на РЭГ одного полушария [Яруллин Х. Х., 1983], что было также характерно для космических полетов.

На формирование в полете РЭГ определенное влияние, возможно, оказывало возрастание в невесомости роли присасывающей функции сердца (активной диастолы) в фазе быстрого наполнения. Мощный диастолический отток крови в фазе быстрого наполнения приводит к резкому падению давления в артериальной системе ниже диастолического. От мощности активного диастолического наполнения желудочков в свою очередь зависит убывание венозной пульсации и соответственно венозной компоненты РЭГ [Яруллин Х. Х., 1983]. Однако автор не исключает также влияние местных сосудистых условий возврата крови к сердцу. РЭГ, зарегистрированные во время полета, характеризовались быстрым спуском катакротической части кривой к изоэлектрической линии и нередко смещением инцизуры даже ниже ее, что, по-видимому, было отражением быстрого уменьшения местного периферического сосудистого сопротивления в результате увеличения просвета артериол при мощном оттоке в венозную систему через капиллярную сеть. Выявленные признаки дилатации прекапиллярных сосудов головного мозга можно трактовать как приспособительную реакцию, направленную на улучшение оттока крови и препятствующую дальнейшему развитию венозного застоя в системе кровоснабжения головного мозга.

Рефлекторная вазодилатация в области головы может быть обусловлена изменением общего гемодинамического статуса организма, проявившегося повышением давления в правой половине сердца и в сосудах малого круга кровообращения, депонированием крови в легочных сосудах, увеличением давления в яремной вене и сонной артерии. Подтверждением такого механизма сосудистых реакций в бассейне внутренней сонной артерии являются экспериментальные данные Б. И. Ткаченко и др. (1975).

Помимо этого, известна зависимость сосудистых реакций от уровня тканевого обмена [Severinghaus J. W. ef al., 1977] при участии местного нейрогенного механизма [Каасик А.-Э. А., 1980]. Под влиянием метаболитов артериолы и прекапилляры расширяются и через увеличивающуюся поверхность улучшаются обменные процессы и концентрация метаболитов снижается [Кондради Г. И., 1973]. В. Е. Катковым и соавт. (1977) в экспериментальных исследованиях установлено, что при моделированной невесомости наибольшее развитие метаболических изменений происходит в головном мозгу: только в оттекающей от головного мозга крови статистически достоверно возникал сдвиг в сторону ацидоза с повышением ферментативной активности.

Уровень пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга в условиях космического полета определялся, помимо изменений системной гемодинамики (возможно, с изменением вектора сердечного выброса), влиянием дополнительных факторов космического полета, особенно при выполнении космонавтами длительных полетов. Так, адекватной реакцией на умственную работу, операторскую деятельность, эмоциональное напряжение считается увеличение притока артериальной крови в сосуды головного мозга, причем преимущественно в область левого полушария [Яруллин Х. Х., 1983]. При длительном воздействии этих факторов происходит нарушение баланса основных нервных процессов, что сопровождается снижением пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга и развитием межполушарной асимметрии. Вместе с тем известно увеличение кровенаполнения сосудов правого полушария как проявление процессов адаптации к экстремальным условиям. Возможно, именно поэтому в длительных космических полетах у большинства космонавтов отмечался чаще и был более выражен прирост показателя кровенаполнения в бассейне правой внутренней сонной артерии.

Начиная с 3-го месяца полета, как правило, появлялась или усиливалась (при наличии до полета) межполушарная асимметрия, почти всегда с относительно низким уровнем кровенаполнения сосудов левого полушария. В этот момент коэффициент асимметрии достигал 30—48%, что можно рассматривать как один из признаков вегетативно-сосудистой дистонии [Яруллин Х. Х., 1983].

Неоднозначная для группы космонавтов экспедиций посещения динамика показателей пульсового кровенаполнения и тонуса мозговых сосудов в первую неделю полета, когда происходит перестройка функций организма и его регуляторных систем к новым условиям среды обитания, по-видимому, носила приспособительный характер в ответ на перемещение крови в краниальном направлении. Эти изменения, в определенной степени за-

висящие от исходного состояния гемодинамики головного мозга, были направлены на создание оптимальных условий кровообращения в бассейне внутренней сонной артерии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБЫ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА НИЖНЮЮ ЧАСТЬ ТЕЛА

Проба с приложением ОДНТ, проводившаяся до космических полетов и во время них, сопровождалась закономерными гемодинамическими сдвигами, которые проявились снижением УО, МОК и пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга при одновременном увеличении ЧСС, $УПС_ф$ и показателя тонуса крупных сосудов в бассейне внутренней сонной артерии. Реакция мелких мозговых сосудов определялась их исходным состоянием и была направлена на нормализацию тонуса пре- и посткапилляров.

В космическую медицину проба с приложением ОДНТ введена как аналог ортостатического воздействия. В обоих случаях (под влиянием гидростатического давления при ортостатической пробе или декомпрессии при ОДНТ) часть крови депонируется в венозных сосудах нижних конечностей и брюшной полости. Причем объем депонированной крови пропорционален растяжению сосудистых стенок, т. е. обусловлен в значительной степени тонусом вен, поскольку венозное русло обладает большой емкостью и способностью расширяться под влиянием гидростатического давления [Folkow B., Neil E., 1976].

Перемещение части крови в зону декомпрессии приводит к уменьшению объема активно циркулирующей крови, центрального объема крови, конечного диастолического объема левого желудочка, который во многом определяет величину УО. Наряду с этим происходит компенсаторное увеличение ЧСС, периферического сосудистого сопротивления и упругоэластических свойств стенок аорты. Изменения фазовой структуры систолы и диастолы левого желудочка характерны для фазового синдрома «недогрузки объемов» [Егоров А. Д., Ицеховский О. Г., 1983; Егоров А. Д. и др., 1982, 1983; Катков В. Е. и др., 1984; Montgomery L. D. et al., 1977; Hordinsky J. R. et al., 1980].

Воздействие ОДНТ сопровождается изменением функционального состояния не только системной, но и регионарной гемодинамики, в частности в системе мозгового кровообращения. В практике реографических исследований при оценке переносимости пробы с ОДНТ большое значение придается динамике и абсолютным величинам дикротического индекса РЭГ как показателя тонуса прекапиллярных сосудов головного мозга [Яруллин Х. Х., 1983]. Именно этим сосудам отводится роль исполнительного звена в миогенной регуляции кровотока, поскольку известно, что сопротивление мелких сосудов составляет структурно-функциональную основу микроциркуляции. По-видимому, этим обстоятельством и обусловлена высокая информативность ДКИ

РЭГ, который косвенно отражает периферическое сосудистое сопротивление конкретной области [Соколова И. В. и др., 1977] и позволяет прогнозировать развитие предобморочного состояния в ходе создания декомпрессии.

Экспериментальными исследованиями установлено, что хорошая переносимость пробы с приложением ОДНТ характеризуется умеренным снижением пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга под влиянием разрежения на фоне нормотонического состояния сосудов малого калибра во время пробы. По данным Х. Х. Яруллина и соавт. (1978), при хорошей переносимости пробы с ОДНТ отмечалось снижение максимальной амплитуды РЭГ, зарегистрированной в фронтомастоидальном отведении, на 11—34%, ДКИ — с 57,4% до 52,8—41,8% в зависимости от режима декомпрессии (35—50 мм рт. ст.). Важно, чтобы во время пробы абсолютные величины ДКИ РЭГ указывали на нормотоническое состояние артериол головного мозга. При наличии признаков декомпенсации сердечно-сосудистой системы снижение реографического индекса как показателя кровенаполнения достигало 41%. При этом отмечалось значительное снижение тонуса мозговых вен и особенно артериол, которое нарастало вплоть до развития предобморочного состояния с явлениями выраженной гипотонии мелких мозговых сосудов (ДКИ уменьшался с 49,5% до 14,0%).

Результаты наших исследований показали, что до полета при создании разрежения —35 мм рт. ст. объемы гемоциркуляции снижались по отношению к уровню до пробы: УО на 26% ($p<0,01$), МОК на 10% при увеличении ЧСС на 22% ($p<0,01$). $УПС_ф$ возрастало на 14% ($p<0,01$), однако его величина до и во время пробы практически совпадала с должным для данного МОК значением ($УПС_{ф/д}$ было равно соответственно 93,0% и 94,8%) (рис. 6). Показатель пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга уменьшался симметрично для обоих полушарий (на 28—34%, $p<0,02$) (рис. 7, 8). Тонус крупных сосудов головного мозга всегда повышался на ранних этапах полета статистически достоверно. Тонус пре- и посткапиллярных сосудов на фоне нормотонического перед пробой состояния артериол и вен в бассейне внутренней сонной артерии (справа и слева) во время воздействия ОДНТ изменялся в небольших пределах.

При увеличении режима декомпрессии до —45 мм рт. ст. (проба проводилась у 6 космонавтов 3-й и 4-й основных экспедиций орбитальной станции «Салют-7») степень снижения УО, МОК и пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга закономерно усилилась. Если создание разрежения —35 мм рт. ст. у этой группы космонавтов сопровождалось снижением УО на 27% ($p<0,01$), МОК на 11% и показателя пульсового кровенаполнения на 30% ($p<0,01$) (для области правого полушария) и 20% ($p<0,01$) (для области левого полушария), то при воздействии ОДНТ = —45 мм рт. ст. отклонения перечисленных показателей от исходных значений составляли 33% (УО), 15% (МОК), 38%



Рис. 6. Изменение показателей системной гемодинамики при воздействии ОДНТ (—35 мм рт. ст.) до (I) длительных (65—237 сут) космических полетов и во время (II них).

ЧСС — частота сердечных сокращений; УО — ударный объем сердца; МОК — минутный объем кровообращения; УПС$_ф$ — фактическое удельное периферическое сопротивление; УПС$_{ф/д}$ — отношение фактического удельного периферического сопротивления к должному.

1 — до пробы; 2 — во время пробы.

* — изменения статистически достоверны.

и 33% (показатели пульсового кровенаполнения мозговых сосудов соответственно справа и слева) (рис. 9, 10). Во время разрежения отмечалось появление умеренной межполушарной асимметрии при относительно более высоких величинах показателя для области левого полушария. При низком исходном тонусе мелких сосудов головного мозга (характерном для данной группы космонавтов) приложение ОДНТ сопровождалось вазоконстрикцией и соответственно увеличением ДКИ РЭГ, что свидетельствовало о выраженной тенденции к нормализации тонуса прекапилляров в период декомпрессии нижней части тела.

Таким образом, **до полета** при создании ОДНТ признаков декомпенсации сердечно-сосудистой системы не выявлено. Пульсовое кровенаполнения сосудов головного мозга в предполетных пробах снижалось в целом пропорционально изменениям УО или даже в меньшей степени.

В полете при проведении пробы с воздействием ОДНТ в режиме —35 мм рт. ст. УО по отношению к величинам до пробы в большинстве случаев снижался меньше, чем до полета. МОК и УПС$_ф$ под влиянием ОДНТ практически не изменялись (см. рис. 6). Пульсовое кровенаполнение сосудов головного мозга всегда уменьшалось: на первой неделе полета в 7 из 12 наблю-

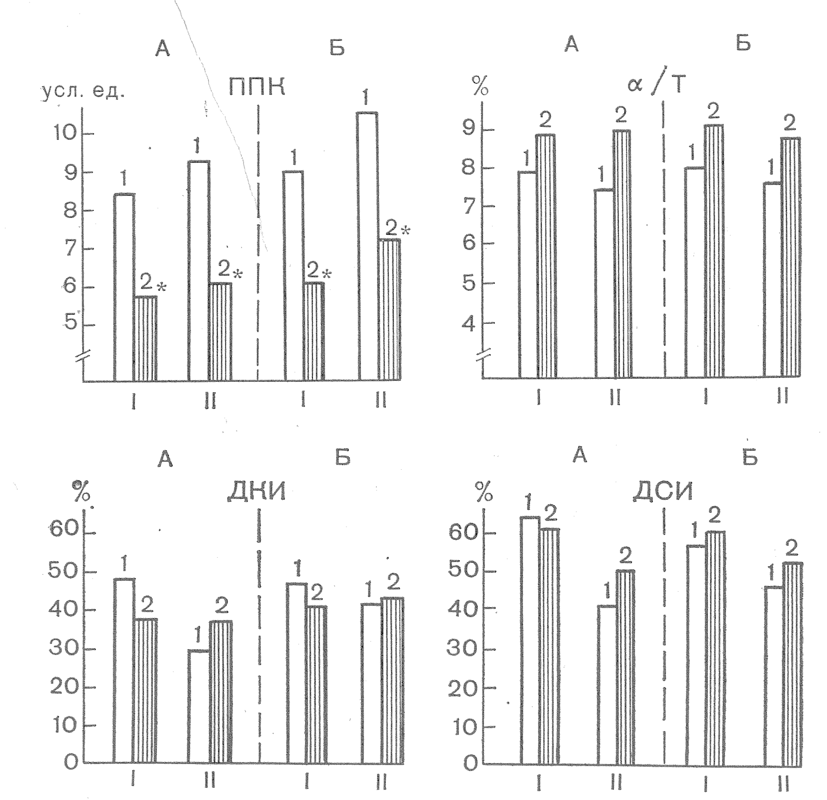


Рис. 7. Изменение показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов головы (бассейн внутренней сонной артерии) при воздействии ОДНТ (—35 мм рт. ст.) до (I) кратковременных (7 сут) космических полетов и во время (II) них.

ППК — показатель пульсового кровенаполнения, 1 — до воздействия ОДНТ, 2 — во время него.

А — правое полушарие; Б — левое полушарие. Остальные обозначения те же, что на рис. 4.

дений в большей степени, чем до полета (чаще справа). В длительных полетах его показатель для области правого полушария снижался в основном меньше, чем в предполетных пробах, в то время как для области левого полушария степень снижения в полете, как правило, несколько увеличивалась. В течение первого месяца полета под влиянием ОДНТ показатели пульсового кровенаполнения сосудов обоих полушарий снижались приблизительно в одинаковой степени. Динамика этих показателей в течение 2—8 мес полета нередко характеризовалась асимметрией. В результате в полете во время пробы с ОДНТ появлялась межполушарная асимметрия пульсового кровенаполнения при более низких (на 20%) величинах показателя для области левого полушария в отличие от предполетного периода, когда асимметрия имела противоположную направленность и была менее выраженной (см. рис. 8).

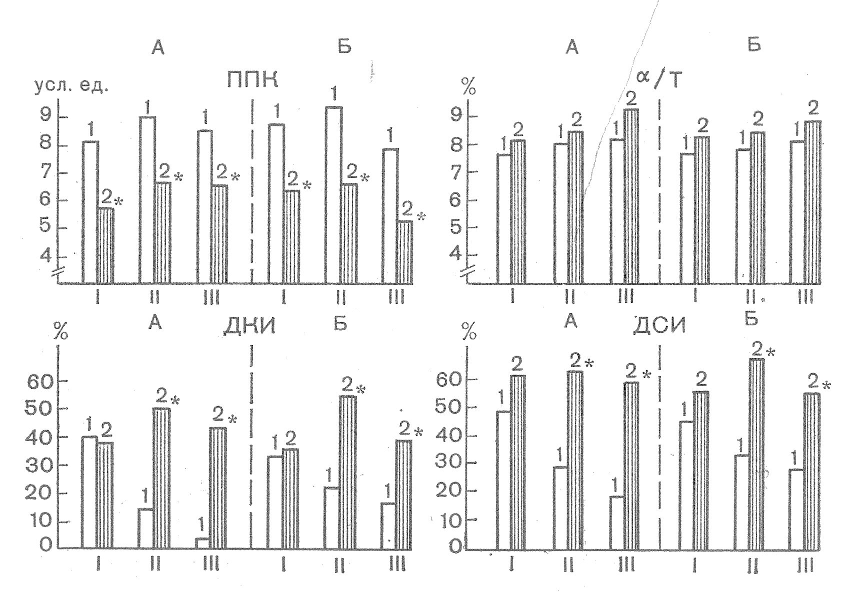


Рис. 8. Изменение показателей пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов головы (бассейн внутренней сонной артерии) при воздействии ОДНТ (—35 мм рт. ст.) до длительных (65—237 сут) космических полетов и во время них.

I — до полета; II — 1-й месяц полета; III — 2—8-й месяцы полета. Остальные обозначения те же, что на рис. 7.

В кратковременных полетах на фоне нормотонического состояния пре- и посткапиллярных сосудов (ДКИ был равен 29,6±±7,79—36,5±9,91%, ДСИ — 41,0±8,83—45,9±6,59%) при создании ОДНТ их тонус практически не изменялся и его показатели составляли 37,1±3,0—38,0±4,45% (ДКИ) и 50,0±4,29—51,5±±4,94% (ДСИ). Можно отметить лишь умеренное увеличение ДСИ РЭГ. В длительных полетах, когда в условиях покоя преобладала гипотензия мелких сосудов головного мозга (особенно в бассейне правой внутренней сонной артерии), приложение ОДНТ сопровождалось выраженной вазоконстрикцией. ДСИ РЭГ под влиянием декомпрессии нижней половины тела у всех космонавтов заметно возрастали соответственно с 2,6—22,3% до 37,7—50,3% и с 18,2—32,7% до 54,5—62,9%.

Межполушарная асимметрия тонуса пре- и посткапиллярных сосудов, имевшая место в покое, при разрежении практически не определялась.

При сопоставлении значений исследуемых показателей, полученных при разрежении —35 мм рт. ст. в полете и в наземных условиях, выявлено, что ЧСС и МОК имели тенденцию к увеличению; $УПС_ф$, наоборот, к снижению. Показатель пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга, как правило, в той или иной мере превышал предполетные величины (за исключением его снижения для области левого полушария в течение 2—

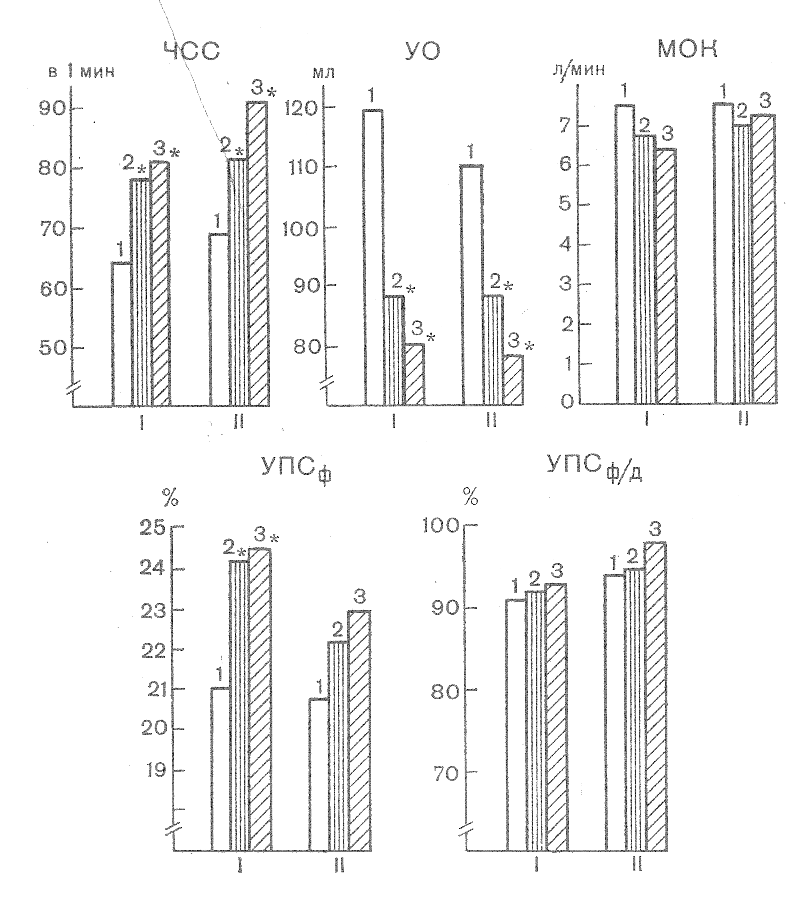


Рис. 9. Изменение показателей системной гемодинамики при воздействии ОДНТ (—35, —45 мм рт. ст.) до (I) длительных (65—237 сут) космических полетов и во время (II) них.

1 — до пробы; 2 — при —35 мм рт. ст.; 3 — при —45 мм рт. ст. Остальные обозначения те же, что на рис. 6.

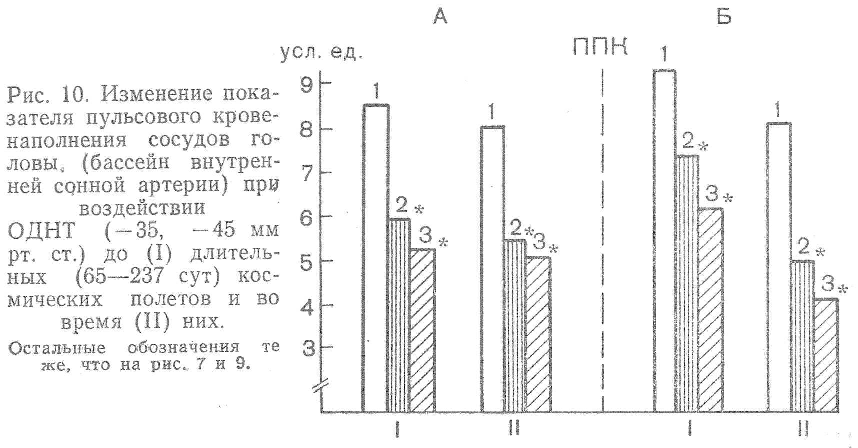


Рис. 10. Изменение показателя пульсового кровенаполнения сосудов головы (бассейн внутренней сонной артерии) при воздействии ОДНТ (—35, —45 мм рт. ст.) до (I) длительных (65—237 сут) космических полетов и во время (II) них.

Остальные обозначения те же, что на рис. 7 и 9.

8 мес полета). Показатель тонуса крупных сосудов в основном не отличался от предполетных данных (кроме 2—8 мес полета). Показатели тонуса мелких сосудов головного мозга при воздействии ОДНТ до полета и на всех этапах космических полетов в целом имели несущественные различия и находились в пределах, характерных для нормотонического типа реоэнцефалографической кривой.

Обследование в полете космонавтов 3-й и 4-й основных экспедиций ОС «Салют-7» показало, что ОДНТ вызывало менее выраженную или соответствующую предполетной реакцию системной гемодинамики по отношению к условиям покоя (см. рис. 9). УО снижался при создании разрежения —35 мм рт. ст. на 20% ($p<0,05$), при —45 мм рт. ст. на 29% ($p<0,01$). МОК изменялся в небольших пределах. По сравнению с предполетными пробами почти во всех наблюдениях более заметно увеличивалась ЧСС, особенно в режиме —45 мм рт. ст.

Показатель пульсового кровенаполнения сосудов правого полушария в большинстве проб снижался в предполетных пределах (или меньше). Наряду с этим в отдельные дни выявлено более существенное, чем на Земле, уменьшение аналогичного показателя для области левого полушария (особенно при —45 мм рт. ст.), что приводило к развитию межполушарной асимметрии кровенаполнения (показатель его был меньше слева). В условиях длительного космического полета (у этой группы космонавтов исследования проводились, как правило, начиная со 2-го месяца полета) пульсовое кровенаполнение сосудов головного мозга снижалось больше, чем изменялся УО. Причем такая закономерность проявилась даже при небольших режимах разрежения (—35 мм рт. ст.).

Реакция мелких сосудов головного мозга была адекватна воздействию: при выраженной до пробы вазодилатации приложение ОДНТ вызывало констрикцию пре- и посткапиллярных сосудов, которая приводила к нормализации их тонуса, о чем свидетельствовали динамика и абсолютные величины ДКИ и ДСИ РЭГ во время декомпрессии.

Анализ изменений показателей центральной гемодинамики, пульсового кровенаполнения и тонуса сосудов головного мозга при проведении пробы с воздействием ОДНТ в полете необходимо проводить с учетом иного по сравнению с наземными условиями состояния гемодинамики человека в условиях невесомости, которое, по современным представлениям, характеризуется: предполагаемым уменьшением объема ОЦК [Johnson R. L. et al., 1977] при одновременном увеличении крови в сосудах малого круга кровообращения [Sawin C. F. et al., 1977]; повышением растяжимости [Егоров А. Д. и др., 1982; Thornton W. E. et al., 1977] и образованием зон свободной растяжимости вен в области голени [Johnson R. L., Hoffler G. W., 1973; Johnson R. L. et al., 1977]; снижением мышечного и сосудистого тонуса, а также детренированностью мышц и механизмов возврата крови к сердцу

[Егоров А. Д. и др., 1982; Thornton W. E., Rummel M. D., 1974]. Следовательно, можно предположить, что создание разрежения в невесомости, являясь более сильным стрессом для организма, приведет к более существенному перемещению крови из сердечно-легочной области в зону декомпрессии и как результат к большему уменьшению УО по сравнению с условиями Земли. Данные, полученные при выполнении исследований по программе «Скайлэб», показали, что в полете происходит большее увеличение объема нижних конечностей при воздействии ОДНТ (особенно малых режимов), чем на Земле [Johnson R. L. et al., 1977]. Вместе с тем такой закономерности в длительных полетах не наблюдалось.

Выявленное в наших исследованиях менее выраженное снижение УО при проведении пробы с ОДНТ в полете не согласуется с теоретическими предпосылками и противоречит гипотезе, рассматриваемой в работах J. T. Shepherd (1974), R. L. Johnson и соавт. (1977). Но, с другой стороны, этот факт можно объяснить с точки зрения предположения, высказанного R. L. Johnson и G. W. Hoffler (1973). Авторы не исключают, что в условиях невесомости кровь, переместившаяся из сосудов ног, не потеряна для циркуляции и депонируется, в частности, в печени, в почках [Григорьев А. И. и др., 1985]. Она образует резерв, часть которого организм может при необходимости использовать, что, по-видимому, и происходит при воздействии ОДНТ. Такого же мнения придерживается L. E. Lamb (1964). Более выраженному снижению УО в пробах с приложением ОДНТ в полете может препятствовать наблюдаемое в невесомости более существенное повышение СРПВ по аорте, которое, возможно, носило компенсаторный характер в условиях предполагаемого редуцированного кровообращения [Егоров А. Д., Ицеховский О. Г., 1983].

Уменьшение УО при воздействии ОДНТ обусловливало снижение пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга. Появление или увеличение межполушарной асимметрии пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга и формы РЭГ можно по аналогии с ортостазом рассматривать как один из признаков функционального нарушения в системе мозгового кровообращения [Яруллин Х. Х., 1983]. Об этом же свидетельствует асимметрия динамики пульсового кровенаполнения сосудов правого и левого полушарий во время воздействия ОДНТ в длительном полете. Она характеризовалась большим снижением и более низкими величинами показателей кровенаполнения сосудов в бассейне левой внутренней сонной артерии, особенно при разрежении —45 мм рт. ст.

Приложение ОДНТ на фоне выраженной гипотонии мелких сосудов головного мозга приводит к изменению соотношения между артериальной и венозной компонентой реоэнцефалографической кривой. Под влиянием разрежения улучшаются условия циркуляции крови в бассейне внутренней сонной артерии, происходит заметное уменьшение роли венозной компоненты в

формировании структуры РЭГ. Нормализация сосудистого тонуса в ходе пробы и исчезновение застойных явлений, обеспечивающие оптимальные условия для осуществления обменных процессов, по-видимому, обусловливали появление у ряда космонавтов ощущения комфорта во время декомпрессии нижней части тела [Дегтярев В. А. и др., 1974; Ярулдин Х. Х. и др., 1984]. Кроме того, нормализацию тонуса мелких мозговых сосудов под влиянием ОДНТ в полете можно расценивать как доказательство обратимого, функционального характера гемодинамических сдвигов в системе кровообращения головного мозга в невесомости.

Наблюдаемые во время пробы исчезновение венозной волны и смещение инцизуры к средней части РЭГ-кривой при небольших разрежениях (—5, —10 мм рт. ст.) дают основание предположить, что максимальное смещение крови в зону декомпрессии происходит главным образом при малых режимах ОДНТ. При этом рефлекторные реакции развиваются при участии в основном барорецепторов низкого давления, чувствительных к изменениям трансмурального давления, без явной активации механизмов каротидного синуса [Ярулдин Х. Х. и др., 1978; Wolthuis R. A. et al., 1974; Bevegard S. et al., 1977]. В. Е. Катков и соавт. (1984) экспериментально доказали, что для стимуляции рецепторов низкого давления (кардиопульмональных) достаточно небольших степеней декомпрессии, которые вызывают немедленное уменьшение центрального венозного давления и давления в легочной артерии. Степень снижения центрального венозного давления прогрессирует по мере увеличения режима разрежения от 42% при —5 мм рт. ст. до 93% при —40 мм рт. ст. [Zoller P. P. et al., 1972]. Изменения в верхней половине тела в целом развиваются в течение первых 2 мин воздействия, а затем процессы стабилизируются [Wolthuis R. A. et al., 1973]. Американские исследователи также применяли небольшие режимы разрежения (—4—16 мм рт. ст.) для определения реактивности именно венозной системы [Johnson R. L., 1971].

Стимуляция рецепторов высокого давления (синокаротидных) возможна только при использовании больших режимов декомпрессии (если судить по изменениям ЧСС и артериального давления) [Zoller P. P. et al., 1972] или же она осуществляется опосредованно с помощью импульсов, возникающих в области низкого давления [Bevegard S. et al., 1977]. Эти импульсы изменяют функцию каротидного синуса, который в свою очередь активирует симпатическую нервную систему и приводит к развитию прессорного синокаротидного рефлекса [Хаютин В. М., 1964]. В наших исследованиях увеличение относительного прироста и абсолютных величин ЧСС отмечалось в более поздние сроки полета и при усилении степени воздействия до —45 мм рт. ст.

Развивающееся при создании ОДНТ в невесомости более выраженное (абсолютное и относительное) уменьшение объема

крови в сердечно-легочной области, вероятно, снижает рефлекторно тормозящее действие с рецепторов на активность вазомоторного центра, что сопровождается усилением адренергических влияний [Газенко О. Г., Егоров А. Д., 1980; Shepherd J. T., 1974]. В связи с тем что при воздействии ОДНТ в невесомости, возможно, имеет место более выраженный относительный перепад между содержанием крови в области грудной клетки и в нижней части тела, следует ожидать и более выраженного усиления адренергических влияний. Это обстоятельство, по-видимому, и обусловило существенное увеличение тонуса всех сосудов и особенно пре- и посткапилляров на фоне их выраженной дилатации перед пробой. Возможно влияние увеличенной продукции катехоламинов [Осадчий Л. И., 1975].

Проба с ОДНТ в полете характеризовалась установлением определенного равновесия между абсолютными величинами ДКИ РЭГ при создании разрежения в условиях невесомости и на Земле. Отмеченное в ряде случаев отличие сопоставляемых величин, полученных до и во время полета, не имело принципиального значения, поскольку находилось в пределах 30—60% и свидетельствовало о нормотоническом состоянии прекапиллярных сосудов. Низкие величины ДКИ РЭГ, зарегистрированные у некоторых космонавтов на отдельных этапах полета, расценивались как признак ухудшения переносимости данного функционального воздействия.

Во время пробы с ОДНТ, как правило, существенно уменьшались индивидуальные различия показателей. Наиболее отчетливо это проявилось в полете, так как сердечно-сосудистая система вынуждена реагировать прежде всего на нагрузку, которая сводит к минимуму влияние остальных факторов.

Проведение пробы с использованием более сильных воздействий (в частности до —45 мм рт. ст.), даже по немногочисленным данным, является перспективным в плане оценки резервных регуляторных возможностей сердечно-сосудистой системы для прогнозирования ортостатической устойчивости космонавтов в период их реадаптации к условиям Земли. При анализе изменений, выявленных в этих пробах, целесообразно обращать внимание не только на количественные характеристики возникающих в каждом режиме отклонений показателей и их сопоставление с предполетными данными. Большое значение имеет динамика изменений при переходе от одного режима к другому, более сильному. Учитывая сохраняющиеся на всем протяжении длительных полетов изменения гемодинамики в области голени, важно изучать ее во время пробы с созданием ОДНТ. Необходимо проводить сочетанный анализ изменений УО и показателей регионарного кровообращения, причем не только при относительно больших разрежениях, но и при малых режимах декомпрессии для изучения переходных процессов.

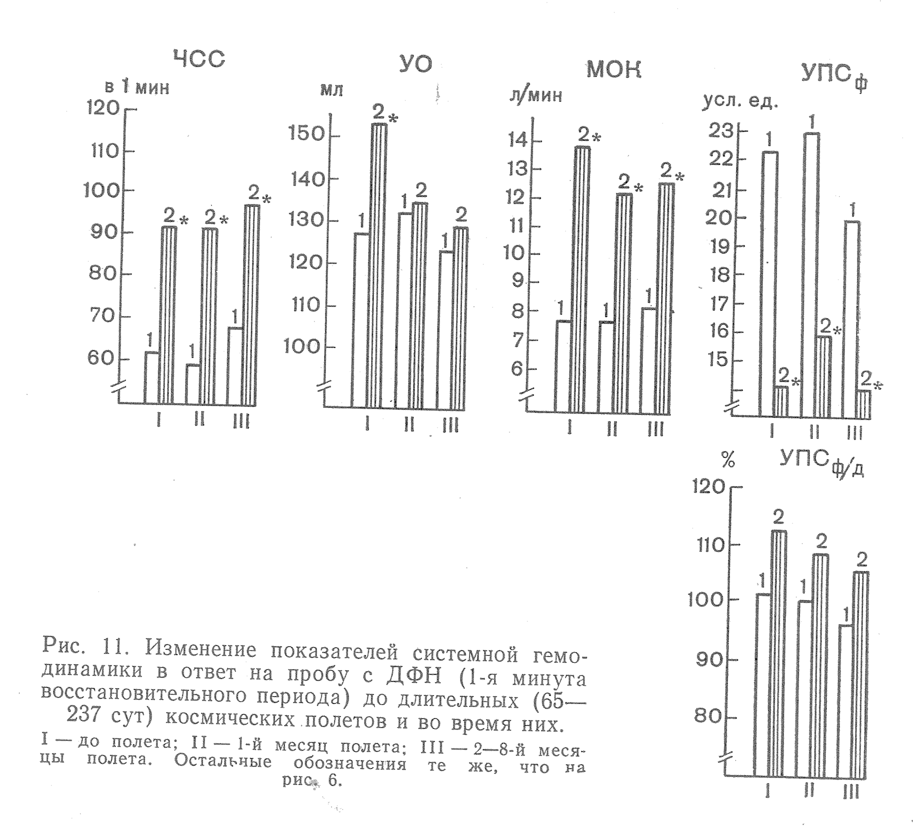


Рис. 11. Изменение показателей системной гемодинамики в ответ на пробу с ДФН (1-я минута восстановительного периода) до длительных (65—237 сут) космических полетов и во время них.

I — до полета; II — 1-й месяц полета; III — 2—8-й месяцы полета. Остальные обозначения те же, что на рис. 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБ С ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Выполнение функциональной пробы с дозированной физической нагрузкой (ДФН) на велоэргометре приводило к возникновению ряда адекватных воздействию изменений со стороны сердечно-сосудистой системы. Эти изменения на первой минуте после окончания нагрузки проявлялись закономерным увеличением ЧСС, МОК, отношения фактического удельного периферического сопротивления к должной для данного МОК его величине и снижением УПС$_{ф}$. УО после нагрузки увеличивался только в предполетных пробах, в то время как в полете этот показатель практически не изменялся (рис. 11, 12).

Как известно, изменения УО при физической нагрузке обусловлены двумя основными факторами: объемом притекающей крови и сократительной функцией миокарда.

Стимуляция симпатической нервной системы при мышечной деятельности приводит к увеличению венозного возврата вследствие усиления насосной функции сердца путем перестройки внутрисердечной гемодинамики, рефлекторного повышения тонуса емкостной системы сосудистого русла и ускорения венозного кровотока [Меерсон Ф. З., 1981; Marshall R. J., Shepherd J. T., 1972]. Эти факторы, взаимодействуя с повышением роли мышечного

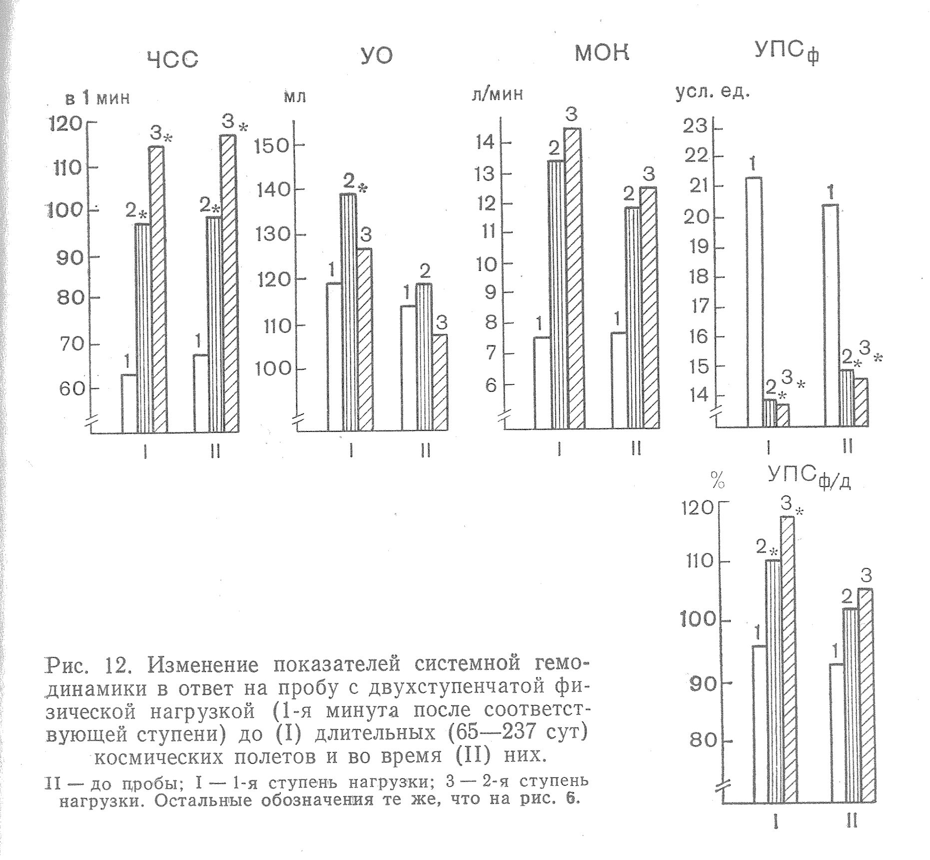


Рис. 12. Изменение показателей системной гемодинамики в ответ на пробу с двухступенчатой физической нагрузкой (1-я минута после соответствующей ступени) до (I) длительных (65—237 сут) космических полетов и во время (II) них.

II — до пробы; I — 1-я ступень нагрузки; 3 — 2-я ступень нагрузки. Остальные обозначения те же, что на рис. 6.

насоса и периферических мышечных «сердец» нижних конечностей при нагрузке [Аринчин Н. И., Недвецкая Г. Д., 1974], приводят к увеличению УО. При этом обязательно возрастает ЧСС.

Таким образом, усиление положительного хронотропного и инотропного влияния симпатической нервной системы на сердечно-сосудистую систему обусловливает увеличение ЧСС и УО, которые в совокупности способствуют необходимому для организма повышению МОК.

В зависимости от степени физической тренированности организма и его функциональных возможностей увеличение МОК реализуется в результате прироста ЧСС, УО или при одновременном увеличении обоих показателей. Различается пять основных типов взаимодействия между перечисленными показателями:

— нормотонический, при котором величина МОК образована приблизительно в равной мере увеличением УО и ЧСС;

— систолический — при большей доли участия УО;

— гипертонический, который сопровождается выраженным приростом УО при обязательном повышении среднединамического артериального давления;

— гипотонический, при котором снижается УО;

— астенический — при преимущественном влиянии ЧСС.

До полета после выполнения космонавтами физической нагрузки средней мощности (750—840 кгм/мин) на 1-й минуте периода реституции наблюдалось увеличение по сравнению с величинами до пробы ЧСС на 48% ($p<0,01$), УО на 20% ($p<0,05$) и МОК на 79% ($p<0,01$). $УПС_ф$ снижалось на 37% ($p<0,02$), однако его величина всегда превышала должное для данного МОК значение (см. рис. 11).

У 7 космонавтов (члены экипажей 3-й и 4-й основных экспедиций орбитальной станции «Салют-7») проводилась двухступенчатая проба с ДФН, которая уже до полета позволила выявить различие гемодинамических сдвигов в зависимости от мощности предъявляемой организму нагрузки (см. рис. 12). На 1-й минуте отдыха после нагрузки средней мощности (840 кгм/мин) изменения всех перечисленных показателей практически не отличались от описанных выше: ЧСС, УО и МОК достоверно увеличивались соответственно на 54, 17 и 79%; $УПС_ф$ снижалось на 35% ($p<0,05$), отношение $УПС_{ф/д}$ составляло 114%. Несколько иная ответная реакция сердечно-сосудистой системы отмечалась при увеличении мощности нагрузки. После окончания работы на велоэргометре на 1-й минуте восстановительного периода прирост УО у всех космонавтов заметно снизился. Существенно усилилась реакция ЧСС и МОК, они увеличивались соответственно на 82 и 92% ($p<0,001$), $УПС_ф$ снижалось в такой же степени (на 36%, $p<0,05$), однако отношение $УПС_{ф/д}$ изменялось незакономерно. При сравнении абсолютных величин показателей, зарегистрированных на 1-й минуте соответственно после 1-й и 2-й ступеней нагрузки, выявлено, что УО был преимущественно ниже (на 4—23%), а МОК, наоборот, выше (на 5—27%) после 2-й ступени нагрузки.

В соответствии с приведенной выше классификацией по соотношению ЧСС, УО и МОК после физической нагрузки в предполетных пробах характер ответной реакции занимал промежуточное положение между нормотоническим и астеническим типом. Степень увеличения УО (на 17—20%) была достаточно закономерной для данной возрастной группы практически здоровых людей. По данным, опубликованным в литературе, большее увеличение УО (до 50%) наблюдается только у спортсменов.

Таким образом, в наземных условиях при выполнении космонавтами в положении лежа средней по мощности нагрузки на велоэргометре увеличение МОК обеспечивалось одновременным приростом ЧСС и УО в сочетании с адекватным снижением периферического сосудистого сопротивления. В увеличении УО, по-видимому, весомое значение имел достаточный возврат венозной крови к полостям сердца и соответственно увеличенный конечно-диастолический объем левого желудочка. Снижение $УПС_ф$ носило компенсаторный характер и было направлено на предотвращение чрезмерного увеличения среднего динамического давления при возросшем МОК.

При увеличении мощности нагрузки до полета следовало бы ожидать дальнейшего увеличения УО или хотя бы его стабилизации. Однако в наших исследованиях УО не только не повысился, но даже несколько снизился. Менее выраженная реакция могла быть вызвана снижением венозного возврата и(или) отсутствием соответствующих изменений внутрисердечной гемодинамики. При повышении нагрузки, возможно, происходило депонирование части крови в нижних конечностях (участие дополнительных мышечных групп в выполнении более интенсивной нагрузки). Увеличение УО при одинаковом или сниженом венознем возврате могло обеспечить усиление сократительной способности миокарда при увеличении фракции выброса, наблюдаемое обычно у спортсменов. У них отмечена прямая зависимость между УО и конечным систолическим объемом левого желудочка [Braunwald E. et al., 1968; Astrand P. O., Rodane K., 1970]. Недостаточное снижение $УПС_ф$, проявившееся в ряде случаев увеличением отношения $УПС_{ф/д}$, нашло отражение в повышении среднего гемодинамического давления (данные И. В. Алферовой).

В длительных полетах при проведении пробы с ДФН выявлены закономерные особенности ответной реакции сердечно-сосудистой системы, которые в целом у всей группы космонавтов орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7» проявились следующим образом.

После работы средней мощности по сравнению с условиями покоя степень увеличения УО была, как правило, заметно меньше, чем до полета. У некоторых космонавтов на отдельных этапах полета его величина после нагрузки даже снижалась. Достоверно уменьшался относительный прирост МОК (он был равен 54—58%). Закономерно меньше, чем до полета, снижалось $УПС_ф$ (на 29—31%).

После выполнения 2-й ступени нагрузки в 5 случаях из 10 УО уменьшался по сравнению с величиной до пробы. Однако снижение УО не приводило к уменьшению МОК по отношению к 1-й минуте отдыха, поскольку одновременно статистически достоверно наблюдался прирост ЧСС, который составлял 74% против 47% после 1-й ступени.

В полете после нагрузки (при сопоставлении с предполетными данными, полученными в аналогичные периоды пробы) зафиксировано статистически значимое снижение объемов гемоциркуляции (УО на 12—16%, МОК на 9—13%). $УПС_{ф/д}$ имело лишь тенденцию к снижению, особенно после 2-й ступени. При выполнении двухступенчатой пробы УО на 1-й минуте восстановительного периода (после 2-й нагрузки) был на 11% меньше ($p<0,05$), чем на 1-й минуте отдыха (после 1-й нагрузки).

Отмеченный выше иной уровень функционального состояния сердечно-сосудистой системы в невесомости позволяет предположить, что избыточный объем крови в сердечно-легочной области, а также увеличение при физической нагрузке легочной составляющей этого объема способствует в периоде ранней реституции

бо́льшему, чем на Земле, перемещению части крови в сосуды нижележащих областей. Это предположение представляется тем более обоснованным, если учесть возможное в невесомости существование зоны свободной растяжимости и повышение растяжимости вен голени вследствие сниженного трансмурального давления. Одной из причин уменьшения УО сердца после нагрузки (или уменьшение его реакции) может быть измененный сосудистый тонус [Michel E. L. et al., 1977]. Кроме того, после нагрузки происходит депонирование крови в артериолах только что работавших мышц нижних конечностей, в невесомости — как результат уменьшения роли периферических мышечных «сердец» в передвижении крови к сердцу.

По-видимому, сочетанное влияние перечисленных факторов приводит сразу после прекращения работы к депонированию крови в нижних отделах тела, снижению венозного притока к полостям сердца, уменьшению конечного диастолического объема левого желудочка и как следствие выявленному в наших исследованиях практическому отсутствию увеличения УО или даже его снижению при повышении интенсивности работы.

Полученные нами результаты в полной мере согласуются с данными эхокардиографических исследований (см. статью О. Ю. Атькова и соавт. в настоящей монографии) о перестройке фазовой структуры диастолы в длительных космических полетах, наблюдавшейся И. В. Алферовой (1984).

В невесомости после выполнения нагрузки различной мощности (750—1050 мкг/мин) увеличение МОК всегда обеспечивалось при доминирующем влиянии хронотропной функции сердца за счет усиления симпатических адренергических стимуляций, наиболее проявившихся при повышении степени нагрузки, т. е. происходило изменение механизма формирования МОК в ответ на физическую работу.

Подводя итог проведенным исследованиям, направленным на изучение состояния центрального и регионарного кровообращения человека в кратковременных и длительных космических полетах, следует отметить, что обнаруженные изменения в условиях покоя проявились прежде всего перераспределением пульсового кровенаполнения и тонуса регионарных сосудов (головы, предплечья, голени) при незначительных в целом отклонениях от предполетных величин УО сердца и МОК. Отмечено изменение ответных реакций на функциональные нагрузочные пробы в виде воздействия ОДНТ и ДФН на велоэргометре. При проведении пробы с ДФН на 1-й минуте периода реституции уменьшалась роль УО сердца в формировании МОК при увеличении хронотропной функции сердца. Проба с приложением ОДНТ в длительных полетах оказывала нормализующее влияние на тонус мелких сосудов головного мозга, что в свою очередь подтверждало обратимый характер сосудистых реакций в условиях полета. Выявленные во время полетов изменения были обусловлены перестройкой общего гемодинамического статуса организма человека в невесомости и в определенной степени зависели от длительности полета и расположения сосудистой области относительно сердца. Эти изменения отражали процесс адаптации организма к условиям космического полета и вместе с тем указывали на сохранение компенсаторных возможностей сердечно-сосудистой системы в полетах продолжительностью до 237 сут.

Полученные данные дополнили ранее накопленные сведения о влиянии невесомости на сердечно-сосудистую систему человека. Наряду с этим они позволили поставить перед специалистами по космической медицине новые задачи, решение которых требует продолжения работ по изучению феноменологии и уточнению механизмов гемодинамических сдвигов, вызванных влиянием не только невесомости, но и других факторов космического полета.

ВОДНО-СОЛЕВОЙ ГОМЕОСТАЗ И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ

После первых орбитальных полетов у космонавтов были обнаружены уменьшение объема циркулирующей крови, отрицательный баланс жидкости и электролитов [Балаховский И. С., Наточин Ю. В., 1973; Berry Ch., 1973]. При этом концентрация электролитов в крови изменялась минимально, однако это было обусловлено достаточно напряженной работой систем регуляции гомеостаза. Даже после 1—5-суточных полетов у космонавтов снижалась способность почек к осмотическому разведению мочи [Наточин Ю. В. и др., 1965; Газенко О. Г. и др., 1986].

Регуляцию электролитного состава крови и других жидкостей внутренней среды, соотношение между их поступлением и выделением обеспечивают различные физиологические системы, поэтому изменения водно-электролитного обмена могут быть следствием нарушения функции не только почек, но и других органов и тканей. В связи с этим при космических полетах различной продолжительности исследовалось состояние почек и системы их гормональной регуляции, а также роль тканевого метаболизма в возникающих сдвигах водно-солевого обмена.

ВОЛЮМО- И ОСМОРЕГУЛЯЦИЯ

Переход от земной гравитации к невесомости приводит в первую очередь к перераспределению крови, характеризующемуся увеличением ее притока в область сосудов грудной клетки, их переполнением и перерастяжением предсердий [Пестов И. Д., Гератеволь З. Д., 1975]. В этот период космонавты отмечают ощущение тяжести и прилив крови к голове, «заложенность носа», у них наблюдаются отечность лица и другие неблагоприятные явления [Какурин Л. И., Лебедев А. А., 1974]. Вследствие изменений гемодинамики рефлекторно усиливается экскреция жидкости и натрия почками. К сожалению, провести исследование функционального состояния почек в первые часы после пере-

хода к условиям невесомости крайне сложно. В связи с этим изучение механизмов изменения выведения воды и ионов при характерном для условий невесомости перераспределении крови проводилось при пребывании человека в горизонтальном или антиортостатическом положении, а также при погружении в иммерсионную среду. В результате проведенных исследований установлено, что уже в первые 15—30 мин пребывания в антиортостатическом положении повышается центральное венозное давление [Носков В. Б. и др., 1986], изменяется содержание волюморегулирующих гормонов в крови, возрастает диурез и выведение с мочой основных электролитов. Осмотическая концентрация мочи при этом снижается. Поскольку эти острые реакции происходят без изменения концентрации осмотически активных веществ и ионного состава крови, то они, вероятно, протекают по типу волюморегулирующего рефлекса [Gauer O., Henry J., 1963] — рефлекса Генри — Гауэра.

В условиях характерного перераспределения крови существенная роль в возрастании диуреза и экскреции электролитов с мочой принадлежит снижению продукции антидиуретического гормона (АДГ) и гормонов ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС), что приводит к уменьшению реабсорбции осмотически свободной воды и электролитов в почечных канальцах. Однако уменьшение секреции АДГ и минералокортикоидов — не единственная причина полиурии и усиленного натрийуреза в этих условиях. Поэтому введением питуитрина «Р», адиуретина или вазопрессина в первые сутки постельного режима или в первые часы иммерсии не удается предотвратить повышения диуреза, хотя величина его несколько снижается [Какурин Л. И. и др., 1973; Hunt N., 1967]. Предварительное введение ДОКА также не предотвращает усиление выведения натрия с мочой [Epstein M. et al., 1973]. Однако в настоящее время гормональные пертурбации, возникающие при перераспределении жидких сред организма, не могут быть объяснены только лишь стимуляцией волюморецепторов сердца, поскольку недавние уникальные исследования, проведенные с участием людей с пересаженным сердцем или сердечно-легочным трансплантатом, показали, что в условиях иммерсии гормональные реакции у таких пациентов были такими же, как у здоровых лиц [Convertino V. et al., 1984].

В последние годы все более пристальное внимание исследователей привлекает натрийуретический пептид, секретируемый в предсердиях при их объемной перегрузке [Cantin M., Genest J., 1985], в частности в условиях антиортостаза [Gharib C. et al., 1985], и способствующий увеличению выведения почками жидкости и солей.

Таким образом, перестройка водно-солевого гомеостаза в начальный период действия невесомости является, по-видимому, следствием перераспределения крови, изменения центральной и почечной гемодинамики и определяется особенностями гормонального статуса организма в этих необычных условиях. При

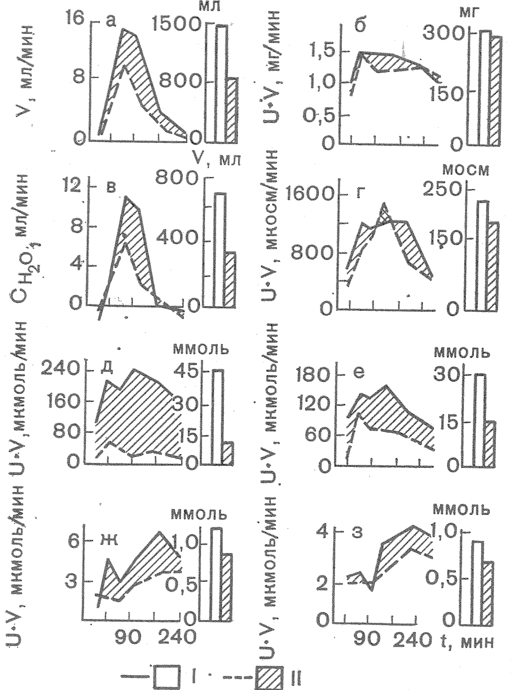
этом в этот ранний период адаптации к условиям невесомости наряду с увеличением экскреции жидкости снижается и водопотребление. Вследствие этого в первые сутки космического полета устанавливается отрицательный баланс жидкости [Leach C. et al., 1976].

Аналогичные явления наблюдаются и в модельных экспериментах с водной иммерсией [Григорьев А. И., 1978; Epstein M., 1971] или гипокинезией в условиях постельного режима, особенно в антиортостатическом положении. В это время уменьшается содержание воды во внеклеточном, в частности во внутрисосудистом, пространстве. Наиболее интенсивное изменение объема циркулирующей крови происходит в первые сутки пребывания в невесомости или при ее имитации. В течение первых 6—8 ч пребывания в условиях иммерсии объем плазмы снижается на 10—15% [Boening D. et al., 1972]. Уменьшение объема крови отмечается на начальном этапе космического полета за счет потерь плазмы (около 500 мл) и остается на таком пониженном уровне в течение всего времени пребывания в невесомости [Kimsey S., 1975].

Нерезко выраженное, но стабильное повышение концентрации альдостерона, наблюдаемое у здоровых лиц в течение шестимесячного пребывания их на постельном режиме, по-видимому, является следствием адекватно уменьшенного объема внеклеточной жидкости в этих условиях [Газенко О. Г. и др., 1980]. Адаптация системы волюморегуляции, несомненно, соответствует новым условиям и благоприятствует улучшению самочувствия и состояния космонавтов.

Интересен вопрос о наиболее благоприятных темпах и индивидуальных особенностях процесса адаптации при переходе к невесомости. Она может быть ускорена с помощью фармакологических средств, увеличивающих экскрецию почками воды и солей натрия в целях более быстрого уменьшения объема внеклеточной жидкости. Показано, что от уровня гидратации человека в условиях антиортостической гипокинезии зависят как величина и динамика центрального венозного давления, так и характер гормональной регуляции экскреторной деятельности почек [Носков В. Б. и др., 1986].

Существенные сдвиги регуляции объема крови наблюдались и сразу после завершения полетов. Несмотря на увеличение потребления воды, у космонавтов отмечалось снижение диуреза [Козыревская Г. И. и др., 1979; Leach C., 1979], что приводило к положительному балансу жидкости. Поскольку осмолярность крови была нормальной, задержка воды в организме, по-видимому, объяснялась изоосмотическим уменьшением объема жидкости, обусловленным невесомостью. При водной пробе, проводимой после полета, снижалась величина максимального диуреза, а также экскреция натрия и осмотически свободной воды (рис. 13). Уменьшение экскреции водной нагрузки может быть обусловлено неадекватной реакцией осморецепторов или систе-



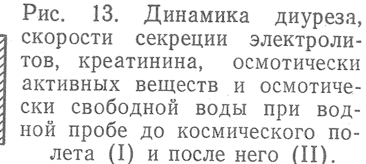


Рис. 13. Динамика диуреза, скорости секреции электролитов, креатинина, осмотически активных веществ и осмотически свободной воды при водной пробе до космического полета (I) и после него (II).

а — диурез; б — креатинин; в — осмотически свободная вода; г — осмотически активные вещества; д—з — натрий, калий, кальций и магний.

мы секреции и инактивации АДГ, уменьшением объема внеклеточной жидкости, нарушением функции почек, торможением всасывания воды в кишечнике, расстройствами эндокринной функции коры надпочечников и других желез, изменениями ионного состава крови либо влиянием фармакологических препаратов. К сожалению, в настоящее время мы не располагаем данными, которые позволили бы оценить состояние осморецепторов, скорость секреции и метаболизм АДГ, быстроту всасывания воды в желудочно-кишечном тракте и распределение ее в тканях, и рядом других сведений для достаточно полного суждения об основных компонентах осморегулирующей системы организма. Имеющиеся данные позволяют считать, что совокупная деятельность всех отделов нефрона, а также внутриклеточный метаболизм составляющих почку элементов оставались ненарушенными. Следовательно, уменьшение экскреции осмотически свободной воды на максимуме диуреза после космического полета обусловлено, вероятно, снижением загрузки дистального отдела нефрона и неполным подавлением после водной нагрузки секреции АДГ.

Ретенция жидкости сразу после окончания полета соответствовала степени обезвоживания, которая у всех космонавтов независимо от длительности пребывания в невесомости была практически одинаковой (4—8%). Однако характер гипогидратации при полетах различной продолжительности был неодинаковым. Как правило, после полетов продолжительностью до 2 нед отмечалось в основном снижение объема внеклеточной жидкости, а после более длительных — содержание воды уменьшалось и в клетках [Johnson Ph. et al., 1977].

Динамика содержания внутриклеточной жидкости в организме на различных этапах космического полета не установлена.

Таблица 15

Экскреция почками жидкости (мл/мин) и электролитов (мкмоль/мин) до полетов различной продолжительности (I) и в первые сутки после них (II) (M±m)

Продолжительность полета, сут	Период	Диурез	Натрий	Калий	Кальций	Магний	Хлор
2—8	I	0,75±0,03	152±8	46±5	4,3±0,5	3,3±0,4	127±9
	II	0,55±0,04*	70±9*	31±3*	4,3±0,6	2,3±0,3	58±7*
120—175	I	0,80±0,04	130±5	50±3	4,3±0,3	3,1±0,6	146±11
	II	0,55±0,06*	79±12*	46±5	5,7±0,8	2,8±0,3	88±14*
211—237	I	0,76±0,05	111±12	42±3	2,8±0,2	2,6±0,2	115±12
	II	0,44±0,03*	58±15*	34±6	3,8±0,8	2,1±0,5	51±8*

* Достоверные изменения экскреции ($p<0,05$).

Наиболее вероятной причиной сокращения внутриклеточного жидкостного пространства является уменьшение клеточной массы вследствие развития атрофических изменений в тканях.

Наряду с уменьшением диуреза в первые сутки после приземления у всех космонавтов снижалось выведение почками натрия и хлора (табл. 15). Причем степень уменьшения их экскреции в большинстве случаев не зависела от длительности пребывания в невесомости.

Можно предположить, что отмеченное после полета снижение диуреза, натрийуреза и хлоруреза, вероятнее всего, связано с необходимостью восполнения их дефицита, возникавшего за время полета, и новой гемодинамической ситуацией, обусловленной гравитационным воздействием.

Изменение экскреции натрия, хлора и жидкости отражает перестройку осмо- и волюморегулирующих систем. В первые сутки после полетов у большинства космонавтов отмечалось снижение экскреции осмотически активных веществ. Осмолярность мочи при этом уменьшалась. После кратковременных полетов причиной этого было снижение концентрации натрия и хлора, а после более длительных полетов осмотическая концентрация мочи падала также из-за меньшего содержания в ней мочевины.

Анализ сдвигов водно-солевого гомеостаза позволил установить, что уменьшение экскреции жидкости и электролитов в этих условиях является следствием изменения состояния систем регуляции транспорта натрия и воды в результате перестройки гемодинамики. Снижение притока крови к органам грудной клетки приводит к изменению сосудистой афферентации, в том числе с расположенных в предсердиях рецепторных зон антидиуретического и антинатрийуретического рефлексов. В раннем послеполетном периоде наблюдается увеличение активности РААС и экскреции АДГ с мочой [Leach C. et al., 1976]. Учитывая физиоло-

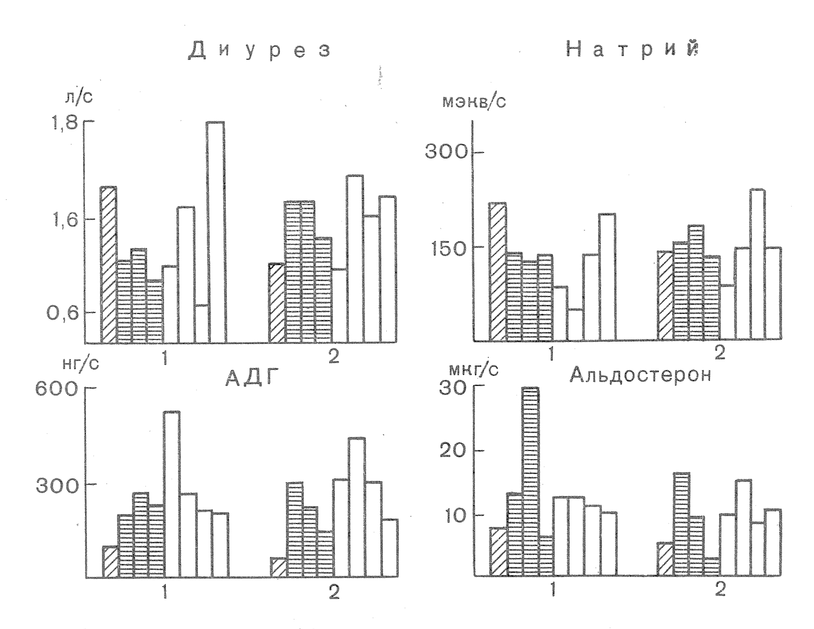


Рис. 14. Экскреция с мочой АДГ, альдостерона, жидкости и натрия в среднем за 3 сут до полета (заштрихованные столбики); на 216—219-е сутки космического полета (черные столбики) и в 1—4-е сутки после окончания полета (белые столбики) у 2 космонавтов (1, 2).

гическое значение этих гормонов, можно допустить, что усиление их активности при возвращении на Землю является признаком компенсаторной реакции, связанной с необходимостью увеличить объем внутрисосудистой жидкости. При этом АДГ и альдостерон способствуют удержанию воды и натрия, а влияние ангиотензина приводит в соответствие емкость сосудистого русла объему крови, воздействуя на сосудистый тонус.

При исследовании состояния водно-солевого обмена и его гормональной регуляции у 2 космонавтов на 216—219-е сутки восьмимесячного полета [Носков В. Б. и др., 1986а] наблюдались положительный водный баланс и задержка натрия, при этом выведение с мочой альдостерона и АДГ заметно возрастало (рис. 14), т. е. характер сдвигов водно-солевого гомеостаза соответствовал таковым в раннем послеполетном периоде. Следовательно, при длительном пребывании в условиях невесомости, вероятно, имеет место волнообразный характер изменений водного и электролитного обмена, как это наблюдалось и при длительном ограничении двигательной активности. Определенное значение в наблюдаемых изменениях водно-солевого обмена принадлежит, по-видимому, также неспецифическим сдвигам, направленным на быстрейшую реадаптацию человека к действию земной гравитации, таким как повышение активности катехоламинов и увеличение в крови концентрации АКТГ и кортизола

[Leach C., Rambaut P., 1977], оказывающих, кроме того, существенное влияние на транспорт воды и натрия.

Следовательно, снижение общего содержания воды в организме при кратковременных полетах обусловлено потерей главным образом внеклеточной жидкости. При более длительном пребывании в невесомости объем внеклеточной жидкости постепенно восстанавливается, но наступает внутриклеточная гипогидратация, вероятно, вследствие развития атрофических процессов в некоторых группах мышц, не получающих достаточной нагрузки в невесомости. Природа фазных изменений функции почек и гормонального звена регуляции водно-солевого гомеостаза до конца неясна.

Снижение ортостатической устойчивости космонавтов в раннем послеполетном периоде и неадекватная реакция на водную нагрузку позволяют поставить вопрос о возможном несоответствии в раннем периоде реадаптации даже нормального объема циркулирующей крови и внеклеточной жидкости условиям земной гравитации. Такое несоответствие может быть обусловлено детренированностью сосудов нижних конечностей и депонированием в них большего, чем обычно, объема крови. Поэтому на завершающей фазе длительного космического полета при подготовке к переходу в условия земной гравитации целесообразны употребление хлорида натрия и воды в дополнительных количествах для увеличения объема внеклеточной жидкости и применение специальных тренировок, обеспечивающих быстрейшую адаптацию сердечно-сосудистой системы к гравитационному перераспределению крови. Это может повысить приспособленность космонавтов к воздействию перегрузок и предотвратить послеполетную ортостатическую неустойчивость. С этой целью космонавты, совершавшие полеты продолжительностью 63—237 сут, на заключительном этапе применяли водно-солевые добавки на фоне регулярных физических тренировок и предварительного воздействия ОДНТ в течение последних 2—5 сут полета.

Анализ результатов послеполетного обследования космонавтов позволил заключить, что примененный способ профилактики оказал выраженное положительное действие, способствующее уменьшению сдвигов водно-солевого обмена, осмо- и волюморегуляции, а также меньшим изменениям сердечно-сосудистой системы.

ЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ ОБМЕН И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ

Наиболее частым и закономерным проявлением изменений электролитного обмена после космических полетов различной продолжительности были сдвиги в ионограмме крови (табл. 16). Причем характер этих сдвигов обусловливался, как видно из данных, приведенных в табл. 16, длительностью пребывания в невесомости. После кратковременных полетов обычно наблюдались гипернатриемия и повышение осмолярности крови, а с уве-

Таблица 16

Концентрация электролитов (ммоль/л) и осмотически активных веществ (мосм/л) до полетов различной продолжительности (I) и после них (II) (M±m)

Продолжительность полета, сут	Период	Натрий	Калий	Кальций	Осмотически активные вещества
2—8 n=30	I II	141±1,0 145±1,2*	4,4±0,1 4,3±0,1	2,5±0,04 2,5±0,03	296±1,0 302±1,3*
120—175 n=10	I II	142±0,9 143±0,7	4,4±0,1 4,0±0,1*	2,4±0,04 2,6±0,05*	286±1,5 290±1,4
211, 237 n=5	I II	142±1,0 145±1,6	4,4±0,04 3,9±0,07*	2,3±0,04 2,5±0,05*	288±2,1 284±5,6

* Достоверные изменения концентрации ($p<0,05$).

личением сроков космических экспедиций все отчетливее стала проявляться тенденция к гипокалиемии и повышению концентрации кальция в сыворотке крови. Все эти сдвиги нормализовались через несколько дней или недель после возвращения космонавтов на Землю. Электролитный состав сыворотки крови, однако, не позволяет судить о балансе ионов, ибо мобилизацией депонированных ионов можно в течение некоторого времени поддержать их уровень в циркулирующей крови в норме при общем отрицательном балансе.

Тенденция к снижению в плазме крови концентрации калия могла быть следствием возрастания его экскреции в условиях невесомости. Наибольшее увеличение выведения калия происходило к концу первого месяца полета, в дальнейшем эти изменения не прогрессировали [Leach C., 1979]. При этом выведение калия значительно превышало поступление его с пищей, следствием чего явилось уменьшение содержания этого иона в организме. В исследованиях с ограничением двигательной активности после небольшого возрастания экскреции калия с 20-х по 50-е сутки постельного режима наблюдалось волнообразное изменение его выведения. Однако во время снижения калийуреза уровень его оставался все же выше исходного и величина экскреции калия относительно поступления была большей, чем в фоновом периоде [Арзамазов Г. С. и др., 1985].

Возрастание экскреции калия при длительной гипокинезии, так же как при полетах продолжительностью более 2—3 нед, вызвано прежде всего атрофическими изменениями в мышцах из-за их функциональной недогруженности. Добавление калия к рациону нормализует его содержание во внеклеточной жидкости, как это наблюдалось у космонавтов второй экспедиции «Салют-4» [Козыревская Г. И. и др., 1979], хотя и не устраняет его отрицательного баланса. Дефицит калия сохранялся даже через

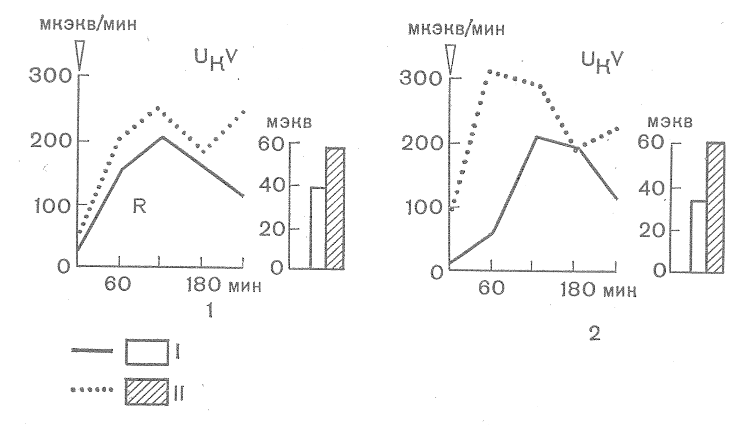


Рис. 15. Выведение калия после нагрузки хлоридом калия до (I) и после (II) космического полета у 2 космонавтов (1, 2).

6 сут после завершения полета [Балаховский И. С. и др., 1978]. Эти данные свидетельствуют о том, что причиной отрицательного баланса калия является не дефицит его в рационе, а невозможность удержания в организме вследствие уменьшения емкости калиевого депо [Газенко О. Г. и др., 1986]. Для проверки этого предположения были проведены исследования с введением солей калия по методике, опубликованной ранее [Григорьев А. И., Арзамазов Г. С., 1977]. Оказалось, что после кратковременного пребывания в невесомости (4—7 сут) у большинства космонавтов экскреция калия с мочой после нагрузки уменьшалась, что свидетельствовало об адекватной калийуретической функции почек, напрвленной на восполнение потерь жидкости и электролитов во время космического полета. Иная реакция на стандартную нагрузку хлоридом калия наблюдалась нами после 175-суточного полета, когда выведение калия было выше, чем в дополетном периоде (рис. 15), даже несмотря на небольшую гипокалиемию. Аналогичные результаты были получены Г. С. Арзамазовым (см. А. И. Григорьев и др., 1979) в исследованиях с шестимесячным постельным режимом. Как показали модельные исследования, гипокалиемия нарастала по мере увеличения длительности ограничения двигательной активности. При выполнении физических упражнений во время соблюдения постельного режима увеличение экскреции калия, в том числе после нагрузки хлоридом калия, было меньшим, чем при гипокинезии. Вероятнее всего, в основе нарушения обмена калия в невесомости лежат первичное изменение тканевого метаболизма, атрофия и обусловленное этим снижение общего содержания калия в организме.

При изучении особенностей эндокринной регуляции обмена калия в условиях гипокинезии выявлена четкая корреляционная зависимость между увеличением экскреции калия с мочой и возрастанием концентрации альдостерона и инсулина в крови. Более заметна эта взаимосвязь при нагрузочной пробе с хлоридом ка-

лия. По-видимому, после поступления избыточного количества калия в организм повышенная продукция альдостерона способствует усилению секреции этого иона, препятствуя развитию гиперкалиемии, и повышает толерантность организма к калию. Этому же способствует и увеличение секреции инсулина, содействующего переходу калия в клетки и изменившего его транспорт в почках.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что изменения обмена калия в организме при воздействии невесомости или гипокинезии обусловлены как уменьшением емкости калиевого депо из-за атрофии мышц, так и изменением гормональной регуляции гомеостаза калия.

Проблемы, которые могут возникнуть в связи с нарушением обмена кальция во время космического полета, интересовали специалистов еще при подготовке первых полетов в космос. При полетах орбитальной станции «Скайлэб» было установлено, что выведение кальция достигает максимума через 3—4 нед и далее удерживается на этом повышенном уровне. Потери кальция составляли в среднем 0,3—0,4% его общего содержания, или около 4 г в месяц [Whedon G. et al., 1976]. При этом развивался также отрицательный баланс фосфатов, магния, сульфатов и азота, что указывает на преобладание катаболизма в тканях опорно-двигательного аппарата. Аналогичные результаты были получены и в исследованиях при гипокинезии. Увеличение выделения кальция почками нарастает постепенно, как правило, до 20—35-х суток ограничения двигательной активности. В дальнейшем оно несколько снижается, стабилизируясь на повышенном уровне до окончания воздействия. При длительном постельном режиме доля экскреции кальция с мочой возрастала до 30—39% при исходном уровне 18—24% [Газенко О. Г. и др., 1986]. Учитывая, что общее содержание кальция в организме человека составляет около 1,5% от массы его тела, указанная величина не вызывает опасений при полетах продолжительностью в несколько месяцев, так как детренированность опорно-двигательного аппарата является преходящей и не приводит к существенному снижению механической прочности скелета. Однако четкой тенденции к уменьшению потерь кальция в течение 3 мес наблюдения не установлено [Rambaut P., Johnson R., 1979]. По-видимому, потери кальция в невесомости могут продолжаться более длительное время, что необходимо учитывать при оценке возможности космических экспедиций продолжительностью более года.

Каковы же причины и механизмы нарушения метаболизма кальция? Важнейшую роль в этих процессах играет гормональная система. Основными гормональными регуляторами метаболизма кальция являются паратиреоидный гормон (паратирин, ПТГ) и кальцитонин (КТ). Физиологические влияния этих гормонов на отдельные звенья регуляции обмена кальция в организме в большинстве случаев противоположны. Так, ПТГ усиливает резорбцию костной ткани и способствует развитию гиперкальциемии, главным образом за счет ионизированной фракции, в то время как кальцитонин, наоборот, способствует минерализации костей и уменьшению содержания кальция в крови. Кроме того, эти гормоны участвуют в поддержании кальциевого гомеостаза путем противоположных влияний на процессы транспорта этого иона в кишечнике и почках.

Мы проводили исследование концентрации ПТГ и кальцитонина в первые сутки после ряда космических полетов. При этом четкой закономерности в изменении содержания этих гормонов в крови установить не удалось. В первый день после семисуточных полетов у большинства космонавтов отмечалось увеличение концентрации ПТГ в крови, после 75-суточного полета ее величина существенно не изменялась. Наиболее интересны результаты исследований после самых длительных — 175-, 185-, 211- и 237-суточных полетов. Причем, несмотря на то что продолжительность полетов была сопоставимой, были получены неоднозначные изменения. Так, после 175-суточного полета содержание в крови ПТГ, как и КТ, у обоих космонавтов увеличивалось, а после 185-суточного полета концентрация в крови ПТГ была ниже исходной. После 237-суточной экспедиции у 2 космонавтов концентрация в крови ПТГ возрастала, а содержание КТ у всех 3 членов экипажа снижалось практически до нуля.

Несмотря на многонаправленные изменения в крови содержания ПТГ и КТ, у большинства космонавтов после длительных полетов выведение кальция с мочой было выше, чем до полета, причем после более продолжительных полетов кальцийурез был выше. У ряда космонавтов, совершивших два и более полетов, выведение кальция после более длительного пребывания в невесомости было существенно выше, аналогичные результаты получены и в исследованиях с соблюдением длительного постельного режима. У большинства космонавтов после длительных космических полетов наблюдалось повышение концентрации ионизированного кальция в крови, только у 2 человек, совершивших 185-суточный полет, величина этого показателя снижалась. По-видимому, повышенная экскреция кальция в условиях невесомости является результатом сочетанного влияния гормонов на транспорт этого иона в кишечнике и почках и возрастания активности ионизированного кальция в крови. Причины изменения концентрации в крови ионизированной фракции кальция, а также уровней ПТГ и КТ требуют дальнейших целенаправленных исследований.

Следствием возросшей активности ПТГ, отмечаемой в течение всего периода 182-суточного постельного режима, могло быть снижение минеральной насыщенности костной ткани и повышение концентрации ионизированного кальция в крови, что приводило в конечном счете к перегрузке нефрона и как следствие этого к гиперкальцийурии.

Повышение экскреции кальция почками происходило и при пробе с нагрузкой лактатом кальция (0,5 мэкв кальция на 1 кг

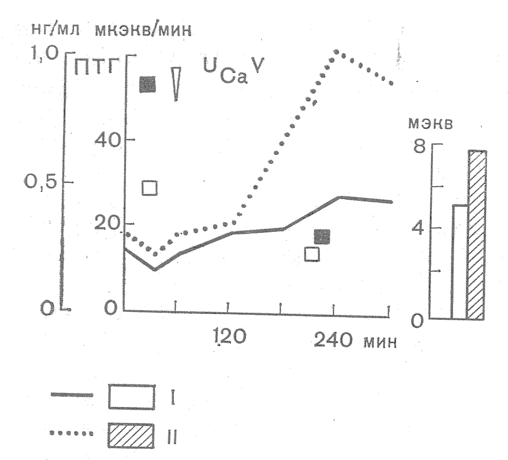


Рис. 16. Выведение кальция с мочой и концентрация ПТГ в крови у одного из космонавтов после нагрузки лактатом кальция до (I) и после (II) 140-суточного полета.

массы тела), проведенной после 75-, 140- и 150-суточных космических полетов. На рис. 16 представлена типичная картина динамики экскреции кальция с мочой и уровня ПТГ в крови у космонавта после такой нагрузки, проведенной до и после 140-суточного космического полета. Такие же данные были получены в аналогичные сроки исследований на модели гипокинезии в условиях постельного режима.

При оценке особенностей обмена кальция после космических полетов и модельных исследований обращает на себя внимание большой разброс в величинах изучаемых показателей, что позволяет предположить, что выраженность сдвигов метаболизма кальция в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей обследуемых.

Таким образом, нарушения электролитного гомеостаза в условиях невесомости обусловлены прежде всего изменениями в тканях опорно-двигательного аппарата и зависят от сопутствующих изменений эндокринного статуса.

Выявленные причины и возможные механизмы расстройств электролитного обмена в условиях невесомости позволили определить пути их профилактики, основой которых во время длительных полетов являются регулярные физические тренировки для восполнения нагрузки на опорно-двигательный аппарат, препятствующие снижению емкости тканевого депо ионов и противодействующие изменениям обмена веществ.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧЕК

Изменения функционального состояния почек, выявленные после космического полета при пробе с водной нагрузкой, определялись не только длительностью полета, но и индивидуальными особенностями космонавтов [Наточин Ю. В. и др., 1965]. По мере увеличения длительности полетов индивидуальные различия в осморегулирующих реакциях становились менее выраженными и выявились главным образом общие закономерности изменений функции почек.

Уменьшение способности почек экскретировать в первые дни после полета воду обусловливается активацией секреции АДГ.

У здорового человека при обычных условиях жизни имеется достаточно четкая зависимость между изменением осмотической концентрации крови и мочи, опосредованная действием на почку АДГ, т. е. чем меньше мочеотделение, тем выше осмотическая концентрация мочи. У космонавтов после полета концентрация осмотически активных веществ в моче снижается, в то время как реабсорбция осмотически свободной воды становится ниже, чем перед полетом. Подобная картина наблюдалась и при длительной гипокинезии [Григорьев А. И. и др., 1979].

Таким образом, длительное пребывание в невесомости влияет на концентрационную способность почек и их реакции на АДГ. Одной из причин может быть изменение ионограммы крови, так как гипокалиемия и гиперкальциемия снижают клеточную реакцию на АДГ. Снижение чувствительности почек к АДГ было непосредственно выявлено Ю. В. Сухановым при проведении пробы с экзогенным препаратом АДГ у обследуемых после 120-суточного пребывания на постельном режиме [Григорьев А. И. и др., 1983].

Важное значение в сдвигах осмо- и ионорегулирующей функции почки во время и после завершения космического полета имеют как содержание ионов в клетках почек, так и другие факторы, от которых зависит эффективная ее работа: состояние гемодинамики, измененный гормональный фон и др. Таким образом, исследование деятельности почки и ее реакции на введение гормонов и солевых нагрузок имеет важное значение для понимания состояния систем нейроэндокринной регуляции, так как почки могут быть своеобразными индикаторами, отражающими суть процессов, происходящих в организме.

Известно, что достаточно продолжительное пребывание человека в условиях невесомости отражается на состоянии различных физиологических систем.

Основой профилактики неблагоприятного влияния невесомости во время полета должно быть противодействие развитию атрофических процессов в тканях оперно-двигательного аппарата. В начальной и завершающей стадиях космических полетов, вероятно, показаны противоположно направленные воздействия на объем внеклеточной жидкости, что должно значительно облегчить острый период адаптации к невесомости и реадаптации к земному тяготению. Поскольку одним из главных эффектов перехода в состояние невесомости является увеличение кровенаполнения центральных сосудистых областей, то предварительная гипогидратация могла бы оказать положительное влияние.

Для уменьшения объема внеклеточной жидкости может быть использовано или ограничение потребления хлорида натрия и воды, или применение диуретиков.

Профилактика нарушений водно-солевого и циркуляторного гомеостаза при переходе от невесомости к условиям земной гравитации с помощью водно-солевой добавки в сочетании с воз-

действием ОДНТ и регулярными физическими упражнениями оказала благотворное влияние на работоспособность и самочувствие космонавтов на заключительном этапе длительных космических экспедиций продолжительностью до 237 сут и после посадки корабля. Положительные результаты примененной системы профилактики подтверждают справедливость положений о механизмах перестройки водно-электролитного гомеостаза у человека в условиях невесомости.

ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ, ГАЗООБМЕН И ЭНЕРГОТРАТЫ ЧЕЛОВЕКА В НЕВЕСОМОСТИ

В данном разделе обобщены результаты исследований внешнего дыхания, газообмена и энерготрат человека, полученные в орбитальных полетах различной продолжительности на космических кораблях «Восток», «Восход», «Союз» и орбитальной станции «Салют», а также данные зарубежных исследователей, полученные в ходе полетов космических кораблей «Джемини», «Аполлон» и орбитальной станции «Скайлэб».

Для сравнения результатов, полученных различными исследователями, объемные величины внешнего дыхания (легочная вентиляция, жизненная емкость легких, объемы вдоха и выдоха) пересчитывались на условия BTPS, а показатели газообмена (минутный объем дыхания, потребление кислорода, выделение углекислоты) и энерготраты — на условия STPD*. В этих же целях величина энерготрат приведена в работе как в килоджоулях, так и в килокалориях.

Исследования проводили с применением различных методик и приборов, поэтому сведение данных в таблицы проведено, где было возможно, по группам для количественного анализа. В ряде случаев анализ проводили по отдельным исследованиям для выявления только динамики процессов.

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА ЧАСТОТУ ДЫХАНИЯ

Анализ показателей, полученных в предстартовом периоде у космонавтов (экипажи космических кораблей «Восток», «Восход», «Союз» и ОС «Салют»), показал выраженное повышение ЧД в периодах четырехчасовой и пятиминутной готовности к полету, что связано, очевидно, с предстартовым нервно-эмоциональным возбуждением.

После выхода корабля на орбиту ЧД у большинства космонавтов в первом периоде пребывания в невесомости продолжала повышаться (1-е сутки полета). В дальнейшем она постепенно снижалась и устанавливалась к концу 5-х суток орбитального полета на предстартовом уровне. У некоторых космонавтов сред-

* BTPS, STPD — международные стандартные условия.

Таблица 17

ЧД (в 1 мин) у космонавтов на отдельных этапах орбитального полета

Условия исследования	Обследуемый космонавт				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
В покое на Земле	12	10	10	9	10
За 4 ч до старта	19	21	30	17	18
Этапы полета:					
1-е сутки	24,3	24	36	24	34
2-е сутки:					
(7-й виток)	16,6	18	28—20	24—22	24—20
(13-й виток)	18	16	34—22	24—22	—
3-и сутки:					
(21-й виток)	19,9	20	36—23	18—16	20—18
(27—29-й витки)	21,3	20	24—18	24—18	20—16
(31—37-й витки)	19	24—18	24—22	21—18	21—16
4-е сутки:					
(39—40-й витки)	18,5	22—18	25—21	21—18	21—16
(43—45-й витки)	18,4	22—17	30—24	24—20	21—18
5-е сутки:					
(49—51-й витки)	18,3	22—17	24—20	23—19	21—19
(55—59-й витки)	18,3	24—18	23—20	24—18	23—18
6-е сутки:					
(60—63-й витки)	17	20—19	22—20	22—20	23—19
(67—69-й витки)	18,9	21—18	30—22	22—19	23—21
7-е сутки:					
(70—73-й витки)	19,2	20—17	—	22—19	23—21
(77—79-й витки)	18,1	20—16	26—23	24—22	24—22
(81-й виток)	17,5	—	—	—	—

няя ЧД дыхательных циклов превышала исходную на всех этапах орбитального полета [Касьян И. И. и др., 1969]. Различие в динамике дыхания у космонавтов обусловлено, по-видимому, индивидуальной переносимостью невесомости, что подтверждается аналогичной реакцией сердечно-сосудистой системы, сопровождающей изменения со стороны дыхания, а также более замедленным восстановлением пульса и дыхания после полета [Касьян И. И., Макаров Г. Ф., 1974]. Такие же изменения ЧД прослеживались в полетах продолжительностью до 7 сут, что представлено в табл. 17.

Анализ динамики ЧД у космонавтов в ходе 18-суточного полета выявил более четкие индивидуальные различия. Так, у одного из космонавтов ЧД на первом витке составила 22 в 1 мин, снизившись к концу первых суток полета до 15 в 1 мин. Оставаясь в дальнейшем на уровне 15—16 в 1 мин, она временами повышалась до 20 в 1 мин. ЧД у другого космонавта была более стабильна и составляла в среднем 15 в 1 мин. Такие же индивидуальные различия отмечались у экипажа на протяжении 2-недельного пребывания на орбитальной станции «Салют».

В более длительных полетах — до 185 сут («Союз-26» — «Салют-6»; «Союз-29» — «Салют-6»; «Союз-35» — «Салют-6»; «Со-

Таблица 18

Среднестатистические показатели динамики ЧД (в 1 мин) в зависимости от длительности нахождения в условиях невесомости

Условия исследования	Статистические показатели				
	M	±m	σ	n	p
Состояние покоя в наземных условиях	11,0	0,22	1,66	88	0,01
Предстартовая готовность	21,2	0,26	5,19	16	0,05
Сутки полета:					
1—10-е	18,8	0,36	3,07	216	0,01
11—20-е	15,0	0,56	1,31	25	0,01
21—30-е	15,4	0,59	2,12	25	0,05
41—50-е	16,9	1,02	4,08	16	0,05
61—70-е	14,6	1,33	3,76	8	0,05
81—90-е	15,9	1,20	3,18	7	0,01
91—100-е	16,0	1,09	3,44	10	0,01
111—120-е	15,0	0,92	2,44	7	0,05
131—140-е	16,6	0,56	1,58	8	0,05
151—160-е	16,2	0,86	1,72	4	0,05
171—180-е	18,4	0,70	2,21	10	0,05

Примечание. М — среднее арифметическое; m — ошибка среднего арифметического; σ — среднеквадратическое отклонение; n — число случаев; p — достоверность.

юз-38» — «Салют-6») ЧД у космонавтов в состоянии относительного покоя продолжала оставаться повышенной на протяжении всего полета, по сравнению с данными, полученными в наземных условиях. На этом фоне наблюдались как учащения, так и урежения ЧД (табл. 18).

Влияние дозированных физических нагрузок на функции внешнего дыхания изучались начиная с полета космического корабля «Восход».

Анализ 69 наблюдений с применением ДФН (≃300 кгм/мин) во время орбитальных полетов продолжительностью до 5 сут показал более выраженное учащение ЧД на физическую нагрузку по сравнению с данными, полученными на ту же нагрузку до полета [Касьян И. И., 1983].

По данным А. М. Генина, В. М. Баранова, Г. Хаазе (1981), в острый период адаптации к невесомости у членов экипажа посещения (ЭП) ОС «Салют-6» изменения частоты дыхания на ДФН (470 кгм/мин) носили разнонаправленный характер.

При увеличении продолжительности пребывания космонавтов в условиях невесомости (до 18 сут) в большинстве случаев наблюдалась более выраженная реакция ЧД на физическую нагрузку, чем в наземных условиях. Следует отметить, что начиная со 2-й недели полета после выполнения ДФН наблюдалось некоторое увеличение времени восстановления частоты дыханий к исходному уровню. Увеличение времени восстановительного периода было отмечено у одного из космонавтов корабля «Союз-9»

на 18-е сутки полета (по сравнению с данными, полученными на 8-е сутки полета), а также у одного из членов экипажа ОС «Салют-3» на 10-е сутки полета.

В исследованиях, проведенных в полетах продолжительностью до 63 сут при более интенсивной физической нагрузке (работа на велоэргометре, 740 кгм/мин), наблюдалось снижение реакции дыхательной системы на одну и ту же нагрузку по сравнению с начальным периодом полета. Например, ЧД у одного из членов экипажа ОС «Салют-4», замеренная сразу же после выполнения физической нагрузки на 39-е сутки полета, составила в среднем 17,2 в 1 мин, а на 51-е — 13,2 в 1 мин [Касьян И. И., 1983].

Интересны наблюдения ЧД в открытом космосе у женщины-космонавта. Первый в мире выход женщины в открытый космос и проведение вне корабля необходимых работ осуществлены при полете корабля «Союз Т-12» (ЭП на ОС «Салют-7»). Основной задачей работы вне корабля являлось проведение испытаний нового универсального ручного инструмента (УРИ), предназначенного для резки, сварки, пайки металлических пластин и напыления покрытий на металлические изделия. Работа проводилась на 9-й день полета. Общее время работы вне корабля составило 3 ч 35 мин. Космонавт успешно выполнила запланированный объем работ. Если судить о величине рабочей нагрузки по ЧД, то наиболее высокие ее величины наблюдались при выходе из «якоря» и при обратном шлюзовании: ЧД в этих периодах достигала в среднем 24,3 в 1 мин, в то время как при работе с блоком УРИ она составила в среднем 14 в 1 мин (фоновая ЧД до выхода из космического корабля равнялась 10—11 в 1 мин).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИЗНЕННОЙ ЕМКОСТИ ЛЕГКИХ

Исследование жизненной емкости легких (ЖЕЛ) в невесомости проводилось начиная с полета космического корабля «Восход-2». В этих исследованиях ЖЕЛ, измеренная в полете в состоянии относительного покоя, была сниженной по сравнению с дополетными данными у одного космонавта на 1100 мл, у другого на 100 мл. Послеполетные измерения (1—3-и сутки после приземления) показали уменьшение ЖЕЛ по отношению к таковой в дополетных исследованиях на 200—300 мл [Касьян И. И. и др., 1969; Крупина Т. Н. и др., 1982].

Аналогичные данные были получены в дальнейшем и у других космонавтов в состоянии относительного покоя. Статистический анализ 20 наблюдений, проведенных у экипажей кораблей «Союз-5», «Союз-6» и «Союз-7», показал, что по средним значениям ЖЕЛ, измеренная в состоянии покоя, у одних космонавтов была ниже в среднем на 300 мл, у других — выше в среднем на 150 мл по сравнению с дополетными обследованиями [Касьян И. И., Макаров Г. Ф., 1974]. Такая же разнонаправленность изменений ЖЕЛ наблюдалась и в более длительных полетах.

Так, у одного из членов экипажа ОС «Салют-3» ЖЕЛ, измеренная на 10—13-е сутки полета, оказалась на 500 мл меньше, чем до полета, а у другого космонавта — на 100 мл больше. У космонавтов ОС «Салют-4» ЖЕЛ, измеренная на 38—39-е сутки полета, была повышена на 200 мл, а на 51—54-е сутки полета у одного космонавта так и осталась повышенной на 200 мл, а у другого не отличалась от предполетных величин. У 3 членов экипажа ОС «Салют-6» ЖЕЛ на протяжении всего полета удерживалась на величинах, измеренных до полета, в то время как у четвертого члена экипажа ЖЕЛ в большинстве замеров и особенно к концу полета была увеличенной.

После полета ЖЕЛ в состоянии относительного покоя у большинства космонавтов была несколько ниже дополетных значений только в первые 1—3 сут и быстро возвращалась к норме [Крупина Т. Н. и др., 1982].

По данным американских авторов [Johnson R. L., 1974; Michel E. L. et al., 1974], ЖЕЛ у членов ОС «Скайлэб» оставалась сниженной на протяжении всего полета (до 10%). Эти авторы полагают, что снижение ЖЕЛ является результатом комбинированного влияния ряда факторов: смещения диафрагмы в верхнюю часть тела, перемещения жидкой среды тела в грудную полость, а также влияния сниженного давления окружающей среды.

При выполнении космонавтами в полете различных ДФН изменения ЖЕЛ имели характер, отличный от такового при выполнении той же нагрузки на Земле. Если в наземных условиях ДФН приводила к снижению ЖЕЛ на 50—150 мл, то в условиях невесомости наблюдалось при выполнении той же нагрузки как снижение (на 100—400 мл), так и повышение ЖЕЛ (на 100—800 мл).

При проведении проб с целью уменьшения притока крови к верхней половине тела в условиях невесомости изменения ЖЕЛ у членов ЭП ОС «Салют-6», по данным А. М. Генина и соавт. (1981), также носили разнонаправленный характер.

Однако в большинстве случаев изменения ЖЕЛ как в кратковременных, так и в длительных орбитальных полетах были направлены в сторону уменьшения по сравнению с данными, полученными в наземных условиях до полета.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Изменение легочной вентиляции (ЛВ) в условиях невесомости у космонавтов было изучено в полете космического корабля «Восход-2». Анализ исследований, проведенных экипажами космических кораблей «Восход-2», «Союз-4», «Союз-5», «Союз-6» и «Союз-7» (27 наблюдений), показал, что ЛВ в состоянии относительного покоя в первые 5 сут орбитального полета была увеличена в среднем на 2,2—4,4 л/мин по сравнению с данными, зарегистрированными перед стартом [Касьян И. И., Макаров Г. Ф., 1974].

Исследования показателей внешнего дыхания, проведенные при помощи прибора «Пневмотест»[1] [Генин А. М. и др., 1981] у одного из экипажей посещения ОС «Салют-6», показали увеличение легочной вентиляции при нахождении космонавтов в состоянии относительного покоя на 18—34% по сравнению с данными обследования перед полетом.

Более высокий уровень ЛВ у космонавтов в состоянии относительного покоя (по сравнению с предстартовыми замерами) был установлен в полетах продолжительностью до 18 сут: ЛВ у космонавта, который производил измерения у себя в состоянии относительного покоя на 8-е и 16-е сутки полета, была выше, чем перед полетом, соответственно на 4,7 и 4,5 л/мин. Аналогичное увеличение ЛВ в покое было отмечено и у экипажа ОС «Салют-3».

Такая же направленность изменений ЛВ была определена у членов экипажа ОС «Салют-4» при более длительном (до 63 сут) пребывании в условиях невесомости. Так, у одного из членов экипажа ЛВ, замеренная на 39-е и 51-е сутки орбитального полета в состоянии относительного покоя, была выше предстартовых величин соответственно на 0,4 и 2,8 л/мин, у другого космонавта на 38-е и 54-е сутки полета ЛВ была выше соответственно на 0,2 и 2,1 л/мин.

Аналогичные данные были получены при исследовании ЛВ в состоянии покоя у экипажей ОС «Салют-5»: у экипажа, находившегося на станции 59 сут, увеличение ЛВ по сравнению с предстартовыми данными было значительно больше выражено, чем у ЭП, пробывшего в невесомости 18 сут [Касьян И. И., 1983].

Анализ опубликованных результатов исследования внешнего дыхания у астронавтов ОС «Скайлэб-2», «Скайлэб-3» и «Скайлэб-4» [Johnson R. L., 1974; Michel E. L. et al., 1974; Thornton W. E. et al., 1974] показал, что у 7 из 8 астронавтов (3 командира корабля, 3 пилота и один пилот-исследователь) ЛВ в покое на протяжении всего полета удерживалась на более высоком уровне, чем зарегистрированный перед полетом; у одного астронавта ЛВ оставалась на уровне предстартовых величин и в одном случае отмечалось ее понижение по сравнению с предполетными данными. В частности, у командира «Скайлэб-4» ЛВ повысилась в полете с 7,5 до 9,98 л/мин, а у пилота — с 6,69 до 8,47 л/мин.

Исследования внешнего дыхания, проведенные у экипажей 2-й и 3-й экспедиций на ОС «Салют-6», показали, что в течение 140- и 175-суточного полета ЛВ в покое у всех космонавтов была выше, чем в условиях покоя на Земле. К 110-м суткам полета у космонавтов наблюдалось повышение ЛВ до предстартового уровня. У одного космонавта к 175-м суткам полета повышение ЛВ составило 6 л/мин (с 4,0 до 10 л/мин).

[1] Прибор «Пневмотест-78» — производство ГДР.

Таким образом, на основании анализа приведенных выше данных можно констатировать, что у человека, находящегося в покое в условиях невесомости, ЛВ в большинстве случаев повышена. При увеличении продолжительности полета до 185 сут изменения ЛВ были неоднозначны: у одних космонавтов наблюдались периодические снижения ее уровня, не достигающие, однако, величин, регистрируемых в наземных условиях, у других космонавтов ЛВ была более стабильной и устанавливалась в невесомости на повышенном уровне.

Исследования ЛВ при ДФН ($\simeq$300 кгм/мин) в полете показали, что ее реакция на нагрузку была более выраженной, чем в наземных условиях. Так, например, у одного из космонавтов корабля «Союз-4» увеличение ЛВ на нагрузку (работа с эспандером) составило по сравнению с данными, полученными в покое перед нагрузкой: в первый день полета +4,65 л/мин, на 2-й день +3,65 л/мин, на 3-й день +7,6 л/мин (при выполнении той же нагрузки до полета увеличение ЛВ по сравнению с ней в состоянии покоя составило +1,2 л/мин). У космонавтов корабля «Союз-6» наибольшее увеличение ЛВ на нагрузку (откачка конденсата) было выявлено: у первого в 1-й день полета, у 2-го на 3-й день полета. У одного из членов экипажа «Союз-7» по двум замерам, проведенным на 5-е сутки полета, увеличение ЛВ на ДФН (работа с эспандером) было в среднем на 3,7 л/мин выше, чем при выполнении той же нагрузки в наземных условиях. У другого члена экипажа «Союз-7» ЛВ при нагрузке (работа с эспандером) увеличилась по сравнению с таковой в наземных условиях: на 3-и сутки полета на +3,9 л/мин, на 5-й день полета на +6,7 л/мин.

При увеличении длительности пребывания в невесомости в ходе исследований было установлено, что реакция на ДФН становится менее выраженной. Например, у члена экипажа космического корабля «Союз-9» ЛВ, измеренная на 8-е сутки полета, сразу же после работы с эспандером была на 5,5 л/мин выше данных, полученных при выполнении той же нагрузки до полета. На 16-й день полета увеличение ЛВ при той же нагрузке по сравнению с дополетными исследованиями составило только 3,9 л/мин. При этом наблюдалось некоторое увеличение времени восстановления ЛВ после ДФН: на 8-е сутки полета ЛВ, измеренная через 3 мин после физической нагрузки, была выше соответствующих данных, полученных в наземных условиях, на 1,8 л/мин, на 16-е сутки полета уровень ЛВ через 3 мин после физической нагрузки был выше на 3,4 л/мин.

Аналогичные изменения ЛВ при ДФН (работа с эспандером) были отмечены у членов экипажа ОС «Салют-3» при сравнении данных исследований на 8-е и 10—13-е сутки полета: через 5 мин после выполнения нагрузки ЛВ оставалась на более высоком уровне по сравнению с данными, полученными через 5 мин после выполнения той же нагрузки до полета, у одного космонавта на 6,4 и 6,8 л/мин, у другого — на 4,3 и 0,7 л/мин.

Несколько иная закономерность изменения ЛВ при ДФН большей интенсивности (470 кгм/мин) в полете была установлена А. М. Гениным и соавт. (1981) у членов экипажа одной из ЭП ОС «Салют-6». В этом случае ДФН (работа на велоэргометре) в невесомости сопровождалась менее выраженным повышением ЛВ (на 10—23%) по сравнению с выполнением той же нагрузки на Земле до полета.

По данным американских исследователей [Smith M. C. et al., 1974], изменения ЛВ при ДФН в невесомости по сравнению с дополетными исследованиями направлены как в сторону снижения (в большинстве случаев), так и в сторону повышения. Так, у 2 астронавтов ОС «Скайлэб-4» ЛВ, измеренная в период выполнения в невесомости работы на велоэргометре, составляющей 70% от максимальной аэробной мощности, была у командира корабля меньше на 2,4 л/мин, у пилота на 7,9 л/мин, в то время как у пилота-исследователя ЛВ была выше на 13 л/мин по сравнению с величинами, полученными при нагрузке той же мощности в наземных условиях. После полета при выполнении той же нагрузки ЛВ у командира корабля и пилота «Скайлэб-4» была меньше дополетных значений на 4,4 и 3,4 л/мин, а у пилота-исследователя оказалась выше на 18,5 л/мин. Исследование после полета динамики ЛВ после ДФН показало увеличение длительности восстановительного периода у всех 3 астронавтов «Скайлэб-4». Так, в первые 5 мин после работы на велоэргометре ЛВ оставалась выше дополетных значений: у командира корабля на 3,2 л/мин, у пилота на 4,0 л/мин, у пилота-исследователя на 9,5 л/мин.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗООБМЕНА И ЭНЕРГОЗАТРАТ

Изучение потребления кислорода, выделения углекислоты и энерготрат человека в условиях невесомости было предпринято в ходе полета космического корабля «Восход-2». Оно показало, что изменения газообмена и энерготрат в невесомости были у космонавтов неодинаковыми. Потребление кислорода и выделение углекислоты в невесомости в состоянии относительного покоя по сравнению с данными на Земле были повышенными: у первого члена экипажа они составили соответственно +206,4 мл/мин и 64 мл/мин, у второго — до +7 мл/мин. Энерготраты, рассчитанные по показателям газообмена, составили соответственно 9,21 кДж/мин (2,2 ккал/мин)[1] и 3,39 кДж/мин (0,81 ккал/мин). Интересно отметить, что после полета (1—3-и сутки) потребление кислорода в покое у первого космонавта было повышено на 14%, у второго — на 23% по сравнению с дополетными данными. Суточные энерготраты превысили исходные величины соответственно на 20% и 23% [Касьян И. И., Макаров Г. Ф., 1974].

---

[1] Так как еще не все читатели привыкли к энергетическим показателям в килоджоулях (кДж), в скобках здесь и далее указаны результаты пересчета в килокалориях (ккал).

Таблица 19

Энерготраты космонавтов в покое и при выполнении дозированной физической нагрузки в условиях невесомости (средние данные: 19 исследований в условиях покоя, 11 исследований при выполнении физической нагрузки)

Вид физической дозированной нагрузки	Статистические показатели	До полета		В полете			
				1—2-е сутки		3—5-е сутки	
		в покое	через 20 с после физической нагрузки	в покое	через 20 с после физической нагрузки	в покое	через 20 с после физической нагрузки
Работа с эспандером (мощность нагрузки 300 кГм/мин)	кДж/мин (ккал/мин) M	8,33(1,96)	10,55(2,52)	10,01(2,39)	10,93(2,61)	11,56(2,76)	13,57(3,24)
	кДж/мин (ккал/мин) ±m	0,75(0,18)	1,47(0,35)	0,88(0,21)	0,80(0,19)	0,84(0,20)	0,80(0,19)
Откачка конденсата ХСА (180 движений в течение 3 мин при мощности 250 кГм/мин)	кДж/мин (ккал/мин) M	9,06(2,16)	9,85(2,35)	10,62(2,54)	14,92(3,56)	11,81(2,82)	16,0(3,82)
	кДж/мин (ккал/мин) ±m	1,47(0,35)	0,88(0,21)	0,96(0,23)	0,71(0,16)	1,05(0,25)	0,88(0,21)

Энерготраты космонавтов космических кораблей «Союз» в покое также были в невесомости более высокими, чем до полета. В среднем по 6 исследованиям энерготраты в невесомости в покое превысили предстартовые данные космонавтов корабля «Союз-4» на 1,76 кДж/мин (0,42 ккал/мин), у космонавтов корабля «Союз-5» на 2,01 кДж/мин (0,48 ккал/мин). Энерготраты космонавтов в покое на кораблях «Союз-6» и «Союз-7» (4 космонавта, 19 исследований) также были повышенными по сравнению с данными, полученными перед полетом, в среднем на 2,51 кДж/мин (0,59 ккал/мин) (табл. 19).

Такая же закономерность повышения энерготрат в покое была установлена при более длительном пребывании человека в условиях невесомости. Так, у члена экипажа корабля «Союз-9» энерготраты в покое на 8-е и 16-е сутки полета были повышенными соответственно на +5,57 кДж/мин (1,33 ккал/мин) и на 5,44 кДж/мин (1,30 ккал/мин) по сравнению с дополетными данными. К 16-м суткам полета наметилось некоторое снижение величины потребления кислорода (и, естественно, энерготрат), однако этот уровень все же был на 80% выше, чем в наземных условиях.

Аналогичные данные были получены у космонавтов ОС «Салют-3»: у одного космонавта энерготраты в покое на 8-е и 13-е сутки полета были выше дополетных данных на +3,48 и 3,90 кДж/мин (0,83 и 0,93 ккал/мин), у другого — на +1,25 кДж/мин (0,3 ккал/мин).

Влияние невесомости продолжительностью до 62-х суток на энерготраты человека было исследовано в ходе полета ОС «Салют-4». Как показали проведенные исследования, энерготраты космонавтов в состоянии относительного покоя были выше дополетных. У одного члена экипажа энерготраты, замеренные на 39-е и 51-е сутки полета, составили соответственно 8,75 и 10,51 кДж/мин (2,09 и 2,51 ккал/мин), в то время как в покое на Земле они были равны 8,46 кДж/мин (2,02 ккал/мин). У другого члена экипажа энерготраты в покое на 38-е и 54-е сутки полета составили соответственно 7,24 и 8,63 кДж/мин (1,73 и 2,06 ккал/мин), в покое до полета они составили 7,12 кДж/мин (1,70 ккал/мин).

Данные американских исследователей ОС «Скайлэб-4» (84 сут) показали, что потребление кислорода и энерготраты астронавтов в покое в условиях невесомости (проведено по 12 исследований на каждом из 3 астронавтов) были в среднем выше, чем на Земле: у командира корабля на 19—20%, у пилота на 11—12%, у пилота-исследователя на 7—8% [Michel E. L. et al., 1974].

Исследования, проведенные в полетах продолжительностью до 185 сут, показали, что энерготраты, рассчитанные по ЛВ, продолжали оставаться повышенными по сравнению с предполетными данными. Так, у одного из членов экипажа корабля «Союз-29» на 120-е сутки полета и у одного космонавта корабля «Союз-32» на 170-е сутки полета уровень энерготрат был выше предстартовых данных. В то же время у одного из космонавтов корабля «Союз-29» и у космонавта корабля «Союз-32» (соответственно на 120-е и 170-е сутки полета) энерготраты в покое были несколько ниже предстартовых величин, но все же выше, чем в покое на Земле.

Исследование газообмена в послеполетном периоде показало, что метаболические сдвиги у космонавтов сохранялись еще некоторое время после полета. Так, потребление кислорода и энерготраты, исследованные через сутки после полета, были повышены (в состоянии покоя): на 12—66% у члена экипажа корабля «Союз-4» и у члена экипажа корабля «Союз-5»; на 5—23% у 3 из 5 космонавтов «Союз-6» и «Союз-7». У члена экипажа корабля «Союз-9» энерготраты через сутки после полета были на 2,55 кДж/мин (0,61 ккал/мин) выше дополетных данных и нормализовались только на 8-е сутки после полета.

Энерготраты космонавтов в невесомости повышались не только в покое, но и после ДФН (см. табл. 19). Энерготраты на ДФН в невесомости были выше, чем в наземных условиях: при работе с эспандером на 0,38—3,02 кДж/мин (0,09—0,72 ккал/мин), при откачке конденсата на 5,07—8,15 кДж/мин (1,21—1,47 ккал/мин).

Аналогичные данные были получены в полетах продолжительностью до 2 нед. Так, у космонавта космического корабля «Союз-9» энерготраты, измеренные сразу же после выполнения физической нагрузки, были выше, чем на Земле: на 8-е сутки полета на 3,94 кДж/мин (0,94 ккал/мин), на 16-е сутки на 2,85 кДж/мин (0,68 ккал/мин). Примечательно, что энерготраты на ту же нагрузку после полета оказались на 1,34 кДж/мин (0,32 ккал/мин) меньше, чем при выполнении той же нагрузки до полета.

Более высокие, чем в наземных условиях, энерготраты на выполняемую в полете ДФН (работа с эспандером) были у космонавтов ОС «Салют-3». У одного из них энерготраты, измеренные сразу же после выполнения нагрузки на 7-е и 10-е сутки полета, были выше соответственно на 1,30 и 0,80 кДж/мин (0,31 и 0,19 ккал/мин) по сравнению с данными, полученными до полета. У другого члена экипажа энерготраты после нагрузки, выполненной на 8-е и 13-е сутки полета, превышали данные, полученные после той же нагрузки в наземных условиях, соответственно на 1,88 и 2,18 кДж/мин (0,45 и 0,52 ккал/мин).

Обращает на себя внимание тот факт, что в полетах продолжительностью до 2 нед было отмечено некоторое увеличение времени восстановления после ДФН. Так, если на Земле после выполнения ДФН уровень энерготрат нормализовался через 5 мин, то в невесомости у одного космонавта корабля «Союз-9» на 8-е сутки полета через 5 мин после ДФН он оставался повышенным на 1,34 кДж/мин (0,32 ккал/мин), а на 16-е сутки полета — в эти же промежутки времени был выше на 2,47 кДж/мин (0,59 ккал/мин). Аналогичное увеличение времени восстановления уровня энерготрат после ДФН в невесомости было у космонавта ОС «Салют-3»: через 5 мин после нагрузки энерготраты продолжали оставаться повышенными по сравнению с наземными условиями на 8-е сутки полета — на 4,65 кДж/мин (1,11 ккал/мин), на 13-е сутки полета — на 4,94 кДж/мин (1,18 ккал/мин).

В более длительных полетах (64 сут) динамика энерготрат на ДФН (работа на велоэргометре 470 кгм/мин) не имела столь четкой направленности: наблюдалось как увеличение, так и уменьшение уровня энерготрат после нагрузки по сравнению с данными, полученными до полета. Так, у одного из космонавтов ОС «Салют-4» энерготраты, измеренные сразу после нагрузки на 38-е сутки полета, составили 9,34 кДж/мин (2,23 ккал/мин), а на 54-е сутки полета они повысились до 9,80 кДж/мин (2,34 ккал/мин). У другого члена этого экипажа энерготраты после выполнения такой же нагрузки на 39-е и 51-е сутки полета уменьшились с 13,1 кДж/мин (3,13 ккал/мин) до 11,51 кДж/мин (2,75 ккал/мин).

Разнонаправленность динамики энерготрат на выполняемую астронавтами в условиях невесомости физическую нагрузку (работа на велоэргометре) была отмечена американскими исследователями по результатам 84-суточного полета ОС «Скайлэб-4». По средним данным 12 исследований, проведенных на 3 астронавтах в полете, энерготраты пилота-исследователя при работе на велоэргометре были выше на 2%, чем при выполнении той же работы на Земле, в то время как у командира корабля и у пилота они были ниже соответственно на 2% и 8,5% [Michel E. L. et al., 1974; Smith M. C. et al., 1974; Thornton W. E., Rummel J. A., 1974]. При анализе данных, полученных американскими исследователями, можно также отметить замедление в полете восстановления энерготрат до исходного уровня. Так, у командира корабля «Скайлэб-4» энерготраты в ходе 5-минутного периода восстановления после нагрузки были в среднем выше на 3,4%, чем в условиях Земли при выполнении той же работы, у пилота-исследователя — выше на 11,0% применительно к тем же временным параметрам. Энерготраты восстановительного периода (первые 5 мин после нагрузки) у пилота были на 11% ниже по сравнению с данными, полученными в исследованиях до полета. Исследования, проведенные после полета, также показали увеличение времени восстановительного периода после выполнения астронавтами ДФН. Так, потребление кислорода (при выполнении работы на велоэргометре после полета) в восстановительном периоде было у командира корабля на 12% выше, у пилота-исследователя на 13% выше, чем до полета, и только у пилота потребление кислорода в период восстановления после нагрузки достигло уровня, зарегистрированного до полета.

ЭНЕРГОТРАТЫ ПРИ НАХОЖДЕНИИ АСТРОНАВТОВ ВНЕ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ И НА ЛУНЕ

У астронавтов космических кораблей «Джемини-9» и «Джемини-10» при работе вне корабля с реактивными средствами передвижения отмечались не только повышение ЧД и ЧСС, но и обильное потоотделение, избыточное накопление тепла и явления усталости, вследствие чего необходимо было видоизменять ранее запланированные операции или отменять их. Так, по мнению астронавта Ю. Сернана («Джемини-9»), выполнение операций вне корабля потребовало в 4—5 раз больше усилий, чем на Земле, и он не мог выполнить часть намеченной программы из-за запотевания стекол гермошлема. ЧСС у Ю. Сернана в период выхода составила 130—170 в 1 мин, а энерготраты превышали 2093 кДж/ч (500 ккал/ч) [Berry Ch. A., 1966]. У астронавта М. Коллинза («Джемини-10») при работе вне корабля ЧД повысилась до 36 в 1 мин, а ЧСС до 160 в 1 мин. В связи с нарастанием явлений усталости продолжительность выхода была сокращена. Пребывание вне корабля астронавта Р. Гордона («Джемини-11») также было сокращено по тем же

причинам. ЧД во время выхода повысилась у него до 36—40 в 1 мин, а выделение тепла составило, по-видимому, более 2094 кДж/ч (500 ккал/ч). Хотя непосредственных замеров уровня энерготрат у астронавтов не производилось, было очевидно, что теплопродукция организма при выходах в Космос была выше, чем эффективность системы охлаждения скафандров, следовательно, на отдельных этапах работы вне корабля энерготраты могли достигать 3600 кДж/ч и выше (860 ккал/ч) [Berry Ch. A., 1966].

По мере совершенствования конструкции скафандров и проведения целенаправленных тренировок космонавтов к работе в безопорных условиях отмечалось снижение энерготрат по сравнению с первыми выходами в открытый космос. Так, средний уровень энерготрат астронавтов ОС «Скайлэб» у первого экипажа колебался в пределах 1088—1381 кДж/ч (от 260 до 330 ккал/ч); у второго — 754—1298 кДж/ч (180—310 ккал/ч); у третьего — 607—1047 кДж/ч (145—250 ккал/ч). Самый высокий уровень энерготрат 2094 кДж/ч (500 ккал/ч) был зарегистрирован у командира первого экипажа, когда он пытался перерезать крепление, мешавшее установке солнечных батарей [Rubis J. F. et al., 1974; Thornton W. E., Rummel J. A., 1974].

Аналогичные данные по энерготратам и реакции дыхательной системы при выполнении работы вне корабля были получены у космонавтов основных экспедиций на ОС «Салют-6» (см. раздел «Медицинское обеспечение работы космонавтов в открытом космическом пространстве»).

Ожидалось (по теоретическим расчетам и данным моделирования на Земле условий лунного притяжения), что по сравнению с наземными условиями энерготраты при ходьбе по поверхности Луны будут снижены в связи с уменьшением силы тяжести. В то же время затраты энергии на другие виды деятельности человека могут быть повышены из-за нарушения обычной структуры рефлекторных движений.

В основном эти предположения получили подтверждения при осуществлении лунных экспедиций экипажами кораблей «Аполлон». При выходе на поверхность Луны о количестве выделившегося тепла судили по расходу кислорода и по количеству тепла, отводимому системой охлаждения скафандра [Berry Ch. A., 1971; Wagner B. M., 1971; Rubis J. F. et al., 1973; Rubis J. F. et al., 1974].

Расход энергии командира корабля и пилота лунного модуля «Аполлона-11» при передвижении по Луне составил в среднем 964—1256 кДж/ч (226—300 ккал/ч), достигая в отдельные периоды более 2512 кДж/ч (600 ккал/ч). Эта величина приблизительно соответствует передвижению по Земле со скоростью 5 км/ч без использования спецснаряжения или при перемещении в скафандре со скоростью 1 км/ч. Теплопродукция за 2,5 ч передвижения по поверхности Луны пешком составила у одного из астронавтов 2366 кДж (565 ккал), у другого — 3195 кДж

(763 ккал). Более энергоемкой была деятельность астронавтов на выходе из модуля вниз головой, при разгрузке и установке оборудования, при заборе проб лунного грунта. Наивысшие энерготраты 1465—1884 кДж/ч (350—450 ккал/ч) были зарегистрированы при подъеме на крутые склоны, при транспортировке научного оборудования и при бурении. Наименьшие энерготраты наблюдались при вождении лунного вездехода.

Последующие полеты кораблей «Аполлон-14—16» предусматривали увеличение объема исследований и времени пребывания на поверхности Луны. Несмотря на это, энерготраты астронавтов в период пребывания на Луне оказались несколько ниже таковых у первых исследователей Луны, что американские авторы [Berry Ch. A., 1971; Rubis J. F. et al., 1973; Rugis J. F. et al., 1974] связывают с упорядочением планирования работы на Луне и целенаправленной тренировкой астронавтов перед полетом. Так, средние энерготраты Шеппарда в период пребывания на поверхности Луны составили 879 кДж/ч (210 ккал/ч), Э. Митчела — 921 кДж/ч (220 ккал/ч).

Анализ послеполетных данных медицинского обследования показал, что физическое состояние пилота основного блока «Аполлон-14», который не подвергался воздействию лунного тяготения, было хуже, чем у 2 других членов экипажа, работавших на Луне. На основании этого факта Ch. A. Berry (1971) предположил, что умеренная работа в условиях пониженной весомости может дать положительные результаты. Однако при исследованиях, проведенных в ходе полета «Аполлон-15», были получены противоположные данные. У двух членов экипажа, Д. Скотта и Д. Ирвина, работавших на лунной поверхности, при обследовании после полета отмечалось более выраженное снижение работоспособности по сравнению с таковой у пилота командного модуля основного блока. Американские исследователи связывают эти изменения со значительным увеличением физической нагрузки экипажа «Аполлона-15» на поверхности Луны. Ч. Берри (Ch. A. Berry) (1973), проанализировав результаты лунных экспериментов, высказал заслуживающее внимания мнение о наличии еще каких-то пока неизвестных причин этого явления, требующих дальнейших исследований.

* *
*

Обобщение результатов изучения внешнего дыхания, газообмена и энерготрат человека при нахождении его в космическом полете продолжительностью до 185 сут показало, что интенсивность газообменных процессов как в состоянии относительного покоя, так и при выполнении ДФН в большинстве случаев устанавливалась в невесомости на более высоком уровне, чем в наземных условиях.

Причины этих изменений к настоящему времени изучены еще недостаточно и механизм их во многом еще неясен. Следует полагать, что выраженное повышение интенсивности газообменных процессов, наблюдаемое в предстартовом периоде, обусловлено нервно-эмоциональным и психическим напряжением, вызванным предстартовой обстановкой, а сохранение повышенного уровня обмена в условиях полета (по сравнению с наземными показателями) связано с воздействием комплекса факторов космического полета на организм человека.

Известно, что при стрессовых воздействиях в первую очередь повышаются ЧД и ЧСС. А это приводит к увеличению энергозатрат организма. Фундаментальные исследования физиологии трудовых процессов и функции внешнего дыхания показали, что изменение только ритма дыханий при сохранении вентиляции легких на том же уровне может вызвать повышение газообмена до 10%, так как работа дыхательных мышц требует дополнительного расхода кислорода. Что же касается количества кислорода, расходуемого при увеличении ЛВ, то оно изменяется в зависимости от ряда причин, в частности от функционального состояния коры головного мозга, и колеблется в пределах 3,3—11,3 мл на 1 л избыточной вентиляции [Дембо А. Г., 1957]. Поэтому наблюдаемый у космонавтов в ходе полета более высокий уровень ЛВ обусловливает более высокий уровень энерготрат в состоянии покоя по сравнению с наземными показателями.

Другой причиной более высокого уровня интенсивности обменных процессов и энерготрат человека в условиях невесомости следует считать изменения в органах и системах организма, происходящие в процессе его приспособления к новым физическим условиям обитания. К ним следует отнести нарушения координационной структуры движений и переафферентацию всех сенсорных систем, изменения в связи с перераспределением крови и относительным переполнением ею верхней половины тела, а также наступающие в связи с указанным выше изменения в функциональном состоянии ЦНС.

Известно, что наиболее экономичными по энергозатратам являются хорошо отработанные движения при выполнении привычной работы. Любое нарушение структуры движений, связанное с новизной работы, с изменением условий работы, нервно-мышечного аппарата или его центрально-регуляторных механизмов, ведет к повышению энергозатрат. Дискоординация движений, обусловленная изменением физических факторов (отсутствие веса тела в невесомости), приводит к повышению энергетической стоимости как статической работы (сохранение определенной позы тела и конечностей в пространстве), так и динамической работы (выполнение движений).

О повышении в невесомости напряжения позных мышц сообщил В. М. Wagner (1971), проанализировав жалобы американских астронавтов У. Ширра, У. Каннингема, Д. Ловелла («Аполлон-7») на болезненные ощущения в мышцах спины (реберно-позвоночные сочленения), которые возникали, по их мнению, из-за необходимости постоянного удерживания тела и конечностей в условиях безопорного пространства в необычной позе даже в состоянии относительного покоя. Примечательно, что эти болезненные ощущения исчезали после выполнения физических упражнений.

Снятие гидростатического давления крови и перераспределение жидких сред организма в невесомости в краниальном направлении существенно изменяют деятельность малого круга кровообращения, вызывая застойные явления в легких и сосудах головного мозга. В результате клинических наблюдений больных с функциональной недостаточностью кровообращения, особенно в сочетании с легочной недостаточностью, известно [Дембо А. Г., 1957], что больные с повышенным основным обменом составляют 90%, причем уровень повышения обмена находился в пределах 20—38%. Поэтому теоретически нельзя исключить, что повышение обмена в невесомости может быть следствием перераспределения крови и возникающей в результате этого функциональной недостаточности сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

Следует отметить еще один фактор, влияющий на уровень обменных процессов в невесомости. Затруднения газообмена в легких вследствие застойных явлений в них и сосудах малого круга кровообращения снижают эффективность легочной вентиляции при сохраняющейся потребности организма в кислороде. По-видимому, это и является причиной повышения легочной вентиляции в невесомости, что приводит в свою очередь к более высокому уровню обменных процессов. Экспериментальные исследования функции дыхательной системы, проведенные в космическом полете в острый период адаптации к невесомости [Генин А. М. и др., 1981], показали, что во время выполнения физической нагрузки на велоэргометре наблюдалось более выраженное (по сравнению с наземными пробами) увеличение частоты дыханий при одновременном снижении дыхательных объемов. Дополнительная нагрузка на дыхательную систему приводит, как было сказано выше, к увеличению энерготрат на дыхание и повышает уровень энерготрат в невесомости.

В невесомости увеличение энерготрат может быть обусловлено также структурными изменениями мышечной ткани. Установлено, что силовые свойства мышечных групп после пребывания в невесомости (а также и после иммерсии) снижались до 30%. Э. С. Маилян и соавт. (1979), Е. А. Коваленко и соавт. (1980) установили изменение биоэнергетики в мышцах и тканях в сторону количественного и качественного сдвига окислительных процессов с усилением гликолитического пути синтеза энергии. Это свидетельствует о недостаточности доставки кислорода к тканям, по-видимому, вследствие нарушения диффузии кислорода через альвеолы. Накопление продуктов гликоли-

за, а также развивающийся в результате приспособительных изменений внутриклеточный ацидоз ведут к нарастанию кислородного долга и накоплению молочной кислоты, что также вызывает увеличение вентиляции и повышение основного обмена.

Существенной причиной усиления обменных процессов в невесомости может быть влияние интенсивной физической нагрузки, применяемой космонавтами для предотвращения детренированности организма к земным условиям. Р. М. Баевский и соавт. (1981), анализируя ЭКГ космонавтов ОС «Салют-6», выполнявших физическую нагрузку на бортовом велоэргометре, приходят к выводу, что адаптация организма к условиям длительной невесомости сопровождается изменениями регуляторных систем, из которых к «неблагоприятным» относится увеличение индекса напряжения, который отражает повышение важности адаптации организма к нагрузке в условиях невесомости как результат мобилизации энергетических и метаболических ресурсов в процессе адаптации.

Увеличение энерготрат космонавтов в невесомости может быть обусловлено также постоянным применением специального снаряжения, обеспечивающего компенсирующую нагрузку на опорно-двигательный аппарат по вертикальной оси тела и, кроме того, создающего амортизационными приспособлениями определенную силу, которую приходится преодолевать космонавтам при совершении движений туловищем и конечностями по всем осям вращения.

Следует помнить также о том, что с увеличением продолжительности полетов у космонавтов нарастают явления утомления, которые, как известно, повышают удельный вес энерготрат на единицу выполняемой работы, что подтверждается нарастанием кислородного долга после выполнения космонавтами ДФН и удлинением восстановительного периода.

Имеющиеся к настоящему времени данные по внешнему дыханию, газообмену и энерготратам не позволяют сделать вывод о завершении процессов адаптации к невесомости в течение 185-суточного орбитального полета и установлении обменных процессов на заданном уровне. Необходимо дальнейшее систематическое и целенаправленное изучение газо- энергообмена в последующих космических полетах.

АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

Одной из особенностей программ полетов орбитальных станций «Салют-6», «Салют-7» и «Скайлэб» можно считать проведение у членов их экипажей сравнительно большой серии антропометрических исследований. В число этих исследований входили измерение массы тела (МТ), оценка динамики периметров и объемов различных частей тела, толщины кожно-жировых складок, а также мышечной силы кистей рук.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА

Известно, что величина МТ является интегральным показателем взаимоотношений организма человека с окружающей средой, и поэтому ее изменения во время полета постоянно интересовали исследователей. Во время полетов на «Востоке», «Восходе» и других объектах малого объема величина МТ контролировалась лишь до полета и после его завершения.

Анализ полученных при этом результатов показал, что почти у всех космонавтов МТ уменьшилась. Однако уже при кратковременном (в течение одних суток) пребывании в условиях невесомости были выявлены определенные (1,8—3,0 кг) индивидуальные различия в снижении МТ. При выполнении программы «Союз» индивидуальные изменения МТ также существенно отличались и не всегда соответствовали длительности полета. Например, у одного из космонавтов уменьшение МТ (4,1 кг) после трехсуточного полета были почти вдвое больше (2,2 кг), чем после пятисуточного полета. Однако, по средним данным (у 9 космонавтов), намечалась определенная зависимость величины изменений от длительности полета: после двухтрехсуточных полетов МТ уменьшалась на 2,8%, а после пятисуточных — на 3,5%. С другой стороны, выраженные почти в одинаковой степени относительные изменения МТ (5,3—5,7%) наблюдались после полетов длительностью от 3 до 18 сут [Газенко О. Г., Егоров А. Д., 1976].

Во время полетов по программе «Джемини» были получены в основном сходные с приведенными выше данные. Лишь в отдельных случаях (Ч. Конрад) при увеличении времени пребывания в невесомости с 3 до 8 сут потери МТ по сравнению с предполетными данными также увеличивались (с 1,1 до 3,8 кг). В большинстве наблюдений увеличение длительности полета не сопровождалось аналогичным изменением МТ. Так, в среднем у 4 астронавтов после полетов длительностью 2 и 4 сут и у 2 астронавтов после 8 сут изменения МТ были почти одинаковыми (от 3,6 до 3,3 кг), а при увеличении длительности полета до 2 нед потери МТ (на 4,5 кг) у одного из членов экипажа несколько превышали указанные выше средние показатели, а у другого (на 2,7 кг) были меньше их. Наибольшие потери МТ (около 6 кг) во время полетов по этой программе наблюдались после двухсуточного пребывания в невесомости у астронавта Ю. Сернана. У одного астронавта (Р. Гордона), совершившего полет длительностью около 3 сут, изменения МТ практически отсутствовали. Средние потери МТ во время полетов по программе «Джемини» составили 2,5 кг (3,4% от предполетных значений) [Hoffler W., 1981].

В 29 случаях из 30 после полетов по программе «Аполлон» наблюдалось уменьшение МТ. При этом в 5 случаях снижение МТ составляло меньше 2%, в 8 случаях — 2,8—3,8%, а более чем в половине всех наблюдений (16 случаев) — 4,0—8,2%.

В зависимости от длительности полета указанный показатель изменялся следующим образом: в среднем у 6 астронавтов после шестисуточных полетов снижение МТ составляло около 5%, при увеличении длительности полета до 8 сут — 3,2%, а после 10-суточных полетов — 4,3%. Следует заметить, что индивидуальные различия в изменении МТ — от 2,8 до 8,2% в 1-м и 3-м случае и от 0,6 до 5,8% во 2-м, как видно, были существенными. И только у одного из астронавтов, выполнившего девятисуточный полет на КК «Аполлон-14», МТ на 0,45 кг превышала фоновую. В среднем у 30 астронавтов МТ уменьшилась на 3,8% [Hoffler W., 1981].

На космических объектах следующего поколения — орбитальных станциях, отличавшихся значительно большим объемом, появилась возможность проводить во время полета исследования динамики целого ряда антропометрических показателей. Впервые подобные исследования МТ были осуществлены на станциях «Скайлэб» и «Салют-5» и продолжены на станциях «Салют-6» и «Салют-7». Во время полетов на станциях «Салют-6» и «Салют-7» МТ определяли массметром, объем голени — специальным измерителем, толщину кожножировой складки — калиброметром, мышечную силу кистей рук — стандартным динамометром.

У всех 3 астронавтов первого экипажа ОС «Скайлэб» МТ в полете уменьшалась. Максимумы изменения (от 2,1 до 2,5 кг) в первой половине полета у командира, научного сотрудника и пилота соответственно наблюдались на 14-е, 13-е и 10-е сутки пребывания в невесомости. Во второй половине полета динамика МТ у них не совпадала. У командира существенных изменений МТ не отмечалось, к концу полета ее дефицит составлял около 2 кг. У космонавта-исследователя после восстановления большей части первоначально потерянной МТ (дефицит сократился до 1 кг) затем в течение недели разница с предполетными величинами увеличилась до 2,7 кг (3,4%). У пилота наибольшая разница с фоновыми данными наблюдалась на 22-е и 28-е сутки полета — 3,6 кг (4,5%). В остальные дни она составляла около 3%.

МТ у командира второго экипажа «Скайлэба» резко уменьшилась в первые 7 сут полета — на 2,7 кг, а в конце полета — еще на 1,3 кг (всего дефицит около 6%). Характер изменений МТ у второго пилота этого экипажа был в основном аналогичным: в остром периоде адаптации потери МТ составляли у него 2,6 кг, а в конце полета — еще около 1,4 кг (всего около 5%). У космонавта-исследователя потери МТ в периоде адаптации были наиболее значительными — около 4% к 4-м суткам полета. В дальнейшем у него отмечалось постепенное увеличение дефицита до 6%.

При полете третьего экипажа «Скайлэба» наименьшими были изменения МТ у командира — 0,8 кг к 3—5-м суткам полета, к 25-м суткам дефицит уменьшился до 0,3 кг, а в конце полета — практически отсутствовал. У второго пилота наибольшая разница с фоновыми величинами (2,4 кг) наблюдалась на 50—55-е сутки полета, к концу его она уменьшилась до 1,5 кг. Масса тела у космонавта-исследователя третьего экипажа уменьшилась в начале полета на 2,2 кг, затем, как у 2 других членов экипажа, наблюдалось некоторое ее восстановление — разница с фоновыми данными уменьшилась до 1,4 кг [Thornton W. E., Ord C., 1974; Whittle M. et al., 1974]. Таким образом, во время самой длительной 84-суточной экспедиции изменения были наименьшими — около 1,5%. Средние изменения МТ у участников полетов на «Скайлэбе», несмотря на существенное увеличение длительности полетов, были почти идентичны аналогичным изменениям у астронавтов КК «Аполлон» [Hoffler W., 1981].

Исследования динамики МТ на орбитальной станции «Салют-5» показали, что к концу 2-й недели полета дефицит МТ у одного космонавта первого экипажа составлял 5,3 кг, а у другого — 2,9 кг. Во второй половине полета — с 28-х суток у первого и с 34-х суток у второго космонавта МТ постепенно снижалась, и к концу полета ее дефицит у первого космонавта достиг 7,0 кг, а у второго — 4,4 кг [Рудный Н. М. и др., 1977]. У одного космонавта второго экипажа на этой станции к 4-м суткам разница с фоновыми величинами составляла 1,6 кг, а у второго члена экипажа — 2,2 кг. Максимальные для каждого из этих космонавтов изменения МТ у одного космонавта наблюдались на 13-е сутки (2,6 кг), а у второго — на 17-е сутки (около 3,0 кг).

Динамика МТ у космонавтов — участников полетов по программе «Салют-6» — «Союз» (2—5-я основные экспедиции) представлена в табл. 20.

Анализ представленных в табл. 20 данных показывает, что у 7 космонавтов из 15 МТ в течение всего полета была меньше фоновых величин, а у 3, наоборот, больше. При этом в первой группе космонавтов максимальные изменения составляли от —2,7 до —6,5 кг, а во второй аналогичные изменения МТ колебались от +3,2 до +4,7 кг. У 2 космонавтов также в течение всего полета МТ была близка к предполетным значениям, еще в 3 случаях в течение некоторого времени (чаще в первой половине полета) она была больше, а во второй половине полета — меньше, чем на Земле.

Следует отметить, что в 5 полетах направленность изменений МТ у членов одного экипажа совпадала, а в 3 случаях была разнонаправленной. Например, в 237-суточном полете у одного из космонавтов она была постоянно выше предполетных значений, у второго, наоборот, ниже, у третьего космонавта в первой половине полета в основном выше, а затем незначительно меньше фоновых значений.

После полета у всех космонавтов независимо от того, отмечался к концу пребывания в невесомости дефицит МТ или нет, она увеличивалась. При этом у 2 космонавтов увеличение МТ в

Таблица 20

Динамика изменений МТ (в килограммах по сравнению с фоновыми величинами) у членов экипажей основных экспедиций (ОЭ) на ОС «Салют-6» и «Салют-7»

ОС и ОЭ	Космонавт	Фон (кг)	Сутки полета																
			4-6-е	8—10-е	11—20-е	21—30-е	31—40-е	41—50-е	51—60-е	61—70-е	71—80-е	81—90-е	91—100-е	101—120-е	121—140-е	141—160-е	161—180-е	181—200-е	201—240-е
«Салют-6» ОЭ-2	1-й	84,5	—0,7	—0,6	—0,4	—0,6	—	—2,3	—3,4	—0,9	—1,3	—1,7	—1,7	—1,0	—1,0				
	2-й	75,5	—0,6	—0,7	—2,0	—2,2	—	—3,6	—3,7	—2,9	—	—5,4	—	—4,6	—4,3				
ОЭ-3	1-й	81,7	—1,1	0	—0,2	—0,7	—0,4	—1,3	—1,8	—2,5	—2,0	—2,7	—3,5	—3,9	—3,8	—4,3	—4,6		
	2-й	84,0	+0,4	0	—0,3	+0,1	+0,9	—0,5	0	0	+0,6	0	+1,0	—0,7	+1,1	+1,3	+1,1		
ОЭ-4	1-й	70,2	0	+0,6	+1,1	+0,7	—	+1,1	—	—	+1,0	+1,4	+1,2	+1,3	+2,4	+2,7	+2,5	+3,2	
	2-й	86,5	+0,7	+1,2	+1,1	+1,1	—	+1,2	—	—	+1,8	+3,3	+2,7	+2,7	+3,2	+4,4	+4,5	—4,7	
ОЭ-5	1-й	83,0	+1,5	+0,3	—0,6	+0,1	—1,4	—0,6	—1,3										
	2-й	73,2	—1,8	—2,9	—4,6	—3,6	—3,6	—2,4	—2,1										
«Салют-7» ОЭ-1	1-й	66,0	—	—	—	—1,8	—	—2,3	—2,2	—2,9	—2,9	—	—2,0	—1,8	—1,8	—1,6	—1,4	—2,2	—1,5
	2-й	78,0	—	—	—	—1,5	—	—1,4	—3,9	—6,0	—6,5	—	—3,8	—3,9	—4,0	—4,0	—4,1	—4,9	—3,5
ОЭ-2	1-й	79,0	+2,7	+1,8	+3,1	+3,1	+1,4	+2,0	—	—	—	+0,3	+0,3	—1,2	—1,2	—1,7			
	2-й	72,0	+2,7	+0,4	+0,7	+0,7	—1,2	—0,4	—	—	—	—1,1	—0,7	—1,6	—2,2	—1,2			
ОЭ-3	1-й	73,5	+2,5	+0,5	—	+1,2	+1,4	+3,6	—	+3,6	—	—	+1,6	+1,9	+1,8	+1,9	+1,8	+1,8	+1,8
	2-й	76,5	+2,8	—1,1	—	+0,2	+2,8	+1,2	—	—4,3	—	—	—0,6	—0,3	—0,3	—0,3	—0,4	—0,2	—0,3
	3-й	72,0	+0,4	—0,6	—	—2,4	—3,3	—3,1	—	—4,6	—	—	—4,6	—4,3	—4,5	—4,3	—4,2	—4,2	—4,2
	В среднем по группе	77,0	+0,7	—0,1	—0,2	—0,4	—0,7	—0,5	—2,3	—2,3	—1,3	—0,7	—0,8	—1,3	—1,1	—0,6	—0,6	—0,2	—1,5

течение 2—3 сут составляло 2,2—2,6 кг, а у 4 других — около 1 кг. Следует отметить, что у большинства космонавтов, летавших на орбитальной станции «Салют-7», увеличение МТ после полета было более выраженным. В среднем у 15 космонавтов, участников полетов на станциях «Салют-6» и «Салют-7», лишь на 4—6-е сутки полета МТ была на 0,7 кг (0,9%) больше, а затем с 11—20-х до 160—180-х суток меньше предполетных значений. В период с 50-х по 70-е сутки разница МТ по сравнению с предполетными данными составляла около 2,0 кг, а в остальные периоды полета ее дефицит колебался в пределах 0,3—1,2 кг. Следует отметить, что во время длительного пребывания в невесомости, как и во всех предшествующих исследованиях, не выявлено определенной зависимости величины потерь МТ от длительности полета. Раньше, чем у других,— на 19-е сутки — индивидуально наиболее значимые изменения МТ наблюдались у космонавта пятой экспедиции, однако выраженные в той же степени изменения у других космонавтов отмечались значительно позднее — через 2—3 или даже 5—6 мес пребывания в условиях невесомости. Результаты исследований, проведенных в ходе полетов на станциях «Салют-6» и «Салют-7», также показывают, что потеря МТ в этих условиях не является закономерной. В ряде случаев, например, у членов экипажа четвертой экспедиции на станции «Салют-6», увеличение МТ составляло к концу полета около 5%. Следует отметить, что у 3 космонавтов, принимавших участие в длительных полетах дважды, динамика МТ в основном была сходной.

Контроль величины МТ непосредственно во время полета позволил более полно представить значение отдельных факторов, влияющих на динамику этого показателя. Анализируя причины, обусловившие снижение МТ у большинства астронавтов, принимавших участие в полетах по программе «Скайлэб», американские специалисты выделяют следующие основные: выделение из организма части переместившейся в краниальном направлении жидкости, влияние метаболического фактора, а также потеря МТ в периоды высокой физической активности, особенно сочетающейся с тепловыми и стрессорными воздействиями [Thornton W. E., Ord C., 1974].

Очевидно, что среди целого ряда факторов, оказывающих влияние на динамику изменения МТ, определяющим является метаболический. Понятно, что пища, адекватная потребностям

организма, только в том случае может обеспечить его энергетические и пластические потребности, если она полностью съедается. Несоблюдение по тем или иным причинам этого условия может привести к недостатку в организме одного или нескольких веществ, нарушению нормального течения обменных процессов и связанной с этим потере МТ. Напротив, при относительном снижении уровня энерготрат возможно постепенное увеличение МТ. Полученные отечественными авторами данные подтверждают важную роль фактора, связанного с приемом пищи [Бычков В. П., 1983]. Особенно наглядно это положение иллюстрируют данные о динамике МТ у космонавта второй экспедиции на станции «Салют-6». Расширение рациона питания, в том числе за счет продуктов, доставленных с учетом пожеланий экипажа грузовым кораблем «Прогресс», способствовало уменьшению дефицита МТ с 5,4 до 3,8 кг.

Пребывание в условиях невесомости связано с уменьшением практически до нуля гидростатического компонента артериального давления. Появляющийся в связи с этим «избыточный» объем крови и межтканевой жидкости перераспределяется в краниальном направлении. Этот процесс посредством ряда рефлекторных механизмов вызывает уменьшение содержания воды и электролитов в организме космонавтов (см. раздел «Водно-солевой гомеостаз»).

Быстрое восстановление значительной части «потерь» МТ в течение 1—2-х суток реабилитационного периода большинство авторов объясняют компенсацией относительной дегидратации организма, связанной с повышенным выведением жидкости после прекращения действия земной гравитации. Иллюстрацией значения этого фактора могут служить контрольные исследования, проведенные до и после операции «Выход» (вторая ОС на станции «Салют-6»), которые показали, что ее выполнение сопровождалось потерей до 0,85 кг МТ у космонавтов, а аналогичные исследования до выполнения физических тренировок на тренажерах и после них (третья ОС) свидетельствовали о дефиците МТ в пределах 0,9—1,0 кг.

Определенное влияние на динамику изменений МТ у космонавтов оказывает также состояние антигравитационной мускулатуры, в наибольшей степени изменяющейся в условиях невесомости. Указанным обстоятельством, очевидно, в основном обусловлены существенная разница (6,9 и 6,5 кг) пред- и послеполетных величин МТ у космонавтов второй и первой экспедиций на орбитальных станциях «Салют-6 и «Салют-7» соответственно и замедленное восстановление ее в обоих случаях после полета.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕМА ГОЛЕНИ И МЫШЕЧНОЙ СИЛЫ РУК

Измерение периметра и объема голени. При исследовании влияния невесомости на опорно-двигательный аппарат в течение длительного времени ограничивались измерением периметров

конечностей. В частности, при обследовании на Земле членов экипажей космических кораблей «Союз», находившихся в условиях невесомости в течение 5 сут (7 человек), В. И. Первушин (1974) установил, что периметры голени в среднем уменьшились на 0,3 см. При этом у 3 человек изменения практически отсутствовали, у 3 составляли 0,4 см, а у одного достигали 0,9 см. Американские исследователи у членов экипажей кораблей «Аполлон» (полеты длительностью 6—12 сут) сразу после приводнения выявили уменьшение периметров голени в среднем на 1,0 см. У членов экипажа «Союз-9» разница с фоном через 2 сут после приземления составляла 12 мм, через 4 сут — 9 мм, а восстановление периметров наблюдалось лишь на 11-е сутки. У членов второго экипажа на станции «Салют-5», также совершивших 18-суточный полет, периметры голеней уменьшились на 2,8 см [Рудный Н. М. и др., 1977], а при увеличении длительности полета до 49 сут (первая экспедиция на той же станции) изменения возросли до 3,2—3,6 см. Следует отметить, что у членов экипажей комплекса «Союз-14» — «Салют-3» после 15-суточного полета уменьшение периметров нижних конечностей было незначительным [Гуровский Н. Н. и др., 1975].

Определения объема тела, выполненные стереофотограмметрическим способом у членов экипажа КК «Аполлон-16», показали, что у командира экипажа как объем всего тела, так и отдельных его частей, в частности нижних конечностей, существенно не изменился, а у пилота командного отсека указанные величины после полета оказались на 7—8% меньше, чем до полета [Rambaut P. C. et al., 1973]. Антропометрические исследования были продолжены у астронавтов ОС «Скайлэб». Серии измерений объема конечностей на строго установленных уровнях дали возможность определить объемы различных сегментов рук и ног. Измерения выполнялись у всех 9 космонавтов до полетов и после них, а у членов третьего экипажа, кроме того,— в полете. Было установлено, что к 3—8-м суткам полета объем нижних конечностей в среднем уменьшился примерно на 13% (2 л). Несмотря на увеличение продолжительности полета вдвое, отмечено почти одинаковое уменьшение объема ног у членов первого и второго экипажей ОС «Скайлэб». Было установлено также, что уменьшение объема ног после еще более длительного полета у третьего экипажа было вдвое меньше, чем у первого и второго экипажей. Сравнительный биостереометрический анализ формы тела у всех 9 астронавтов до и после полета позволил обнаружить уменьшение объема ног от 1 до 1,5 л [Thornton W. E. et al., 1974]. Авторы пришли к выводу, что одна треть этих потерь была обусловлена частичной атрофией мышц ног вследствие относительного их бездействия в невесомости, а остальные потери обусловлены изменением водного баланса организма. Во время полетов ОС «Салют-6» и «Салют-7» проводились измерения объема голени космонавтов. Полученные данные приведены в табл. 21.

Таблица 21

Динамика изменений объема голени (уменьшение в процентах от фона) у членов экипажей ОЭ на ОС «Салют-6» и «Салют-7»

ОС и ОЭ	Космонавт	Фон (см³)	Сутки полета														
			3—5-е	6—10-е	11—20-е	21—30-е	31—40-е	41—60-е	61—80-е	81—100-е	101—120-е	121—140-е	141—160-е	161—180-е	181—200-е	201—220-е	221—240-е
«Салют-6» ОЭ-2	1-й	2449	8,7	12,6	11,8	16,5	17,2	18,1	—	21,8	20,9						
	2-й	2063	8,1	7,9	8,4	12,7	14,2	15,6	—	19,0	17,9						
ОЭ-3	1-й	2143	12,8	12,5	13,9	14,4	14,8	14,3	16,0	16,3	17,2	17,2	18,0	16,8			
	2-й	2210	14,3	16,4	18,1	20,8	21,2	21,2	22,4	20,3	21,3	20,7	22,7	21,3			
ОЭ-4	1-й	2109	6,7	8,3	8,8	—	9,6	8,3	13,5	13,5	12,3	9,7	7,7	6,8	5,7		
	2-й	2205	5,7	6,3	8,7	—	10,4	11,1	13,3	12,8	12,8	11,2	13,5	13,7	13,8		
ОЭ-5	1-й	2342	—	7,6	12,5	14,8	13,2	14,0									
	2-й	2045	—	7,4	15,7	11,6	14,7	14,7									
«Салют-7» ОЭ-1	1-й	1885	3,2	5,4	6,9	9,2	—	13,1	15,5	13,1	13,1	12,3	12,5	11,5	13,3	12,4	
	2-й	2455	6,8	14,0	—	22,6	—	23,2	26,5	23,6	24,1	23,8	23,1	23,1	27,3	26,6	
ОЭ-2	1-й	2004	—	5,1	3,5	5,3	5,8	5,6	7,2	7,3	8,2	11,0	9,9				
	2-й	2022	—	5,6	8,0	9,1	11,2	10,1	13,1	14,1	10,9	12,0	11,7				
ОЭ-3	1-й	2069	5,0	—	—	12,6	12,4	10,4	12,7	14,4	17,0	18,5	18,3	15,0	11,6	14,0	12,9
	2-й	1947	7,5	—	—	5,7	10,7	14,8	15,1	14,7	15,4	16,4	17,1	15,8	17,3	15,8	13,8
	3-й	1885	3,6	—	—	10,8	8,3	6,5	11,5	11,4	13,5	13,5	17,6	16,7	17,8	21,5	18,9
	В среднем по группе	22122	7,5	9,1	10,6	12,8	12,6	13,4	15,2	15,6	15,7	15,5	15,5	15,4	15,3	18,1	15,2

Анализ данных, приведенных в табл. 21, показывает, что объем голени у всех 15 обследованных уменьшался. В остром периоде адаптации к условиям невесомости изменения составляли 4—16%. Позднее разница с предполетными величинами, как правило, увеличивалась, однако «прирост» изменений был различным. У большинства космонавтов он составлял от 5—7 до 10—11%. Максимальные для каждого из космонавтов изменения (11—27%) наблюдались в различные — 1—5 мес — сроки пребывания в условиях невесомости. Во второй половине полета дефицит объема голени в большинстве случаев стабилизировался на одном уровне или даже уменьшался. Особенно заметно (на 5—6%) обратное развитие выявленных изменений наблюдалось в 2 случаях, у большинства космонавтов оно было менее заметным. В самом длительном — 237-суточном полете — изменения объема голени у всех 3 космонавтов не имели каких-либо особенностей по сравнению с изменениями в полетах меньшей продолжительности.

Интересно сопоставить указанные выше изменения объема голени с динамикой ее периметров на разных уровнях. В среднем по группе в наибольшей степени изменился максимальный периметр: к 6—10-м суткам он уменьшился на 2 мм, к концу 1-го месяца разница с фоном достигла 26 мм, а еще через месяц она была равна 31—33 мм. Позднее темп изменений уменьшился и к 140—160-м суткам суммарное уменьшение максимального периметра составляло 37—38 мм. Один из периметров в нижней трети голени изменялся следующим образом: к 6—10-м суткам дефицит составлял 9 мм, к концу 2-го месяца — 14 мм, а в течение следующих 3—4 мес прирост изменений составил лишь 3—4 мм.

Существенная по величине — в среднем около 9% — потеря объема голени в начальном периоде полета и возмещение значительной части утраченного объема в первые 4—6 сут реабилитационного периода, можно полагать, в основном обусловлены изменениями водного баланса организма.

Но уменьшение объема голени (на 6—11%) продолжалось и после того, как водный баланс организма уже в основном стабилизировался на новом уровне. Этот факт, как и замедленное восстановление МТ у ряда космонавтов, а также данные об уменьшении активной МТ в полете позволяют предполагать, что дефицит объема голени в ряде случаев обусловлен также изменениями мышечной ткани [Ильина-Какуева Е. И. и др., 1977].

Оценивая влияние физических тренировок на указанные процессы, следует обратить внимание на следующие обстоятельства. Во-первых, примерно равное по величине уменьшение объема голени (около 6%) у членов экипажа ОЭ-3 на станции «Салют-6», выполнявших упражнения, наибольшие по объему на тренажерах и с эспандерами, происходило вдвое медленнее, чем у экипажа ОЭ-4 при меньшем объеме физических нагрузок. Во-вторых, значительное уменьшение дефицита объема голени у одного из космонавтов во второй половине полета происходило, по мнению специалистов [Тишлер В. А., Степанцев В. И., 1983, и др.], в связи с увеличением объема упражнений на КТФ (бегущая дорожка).

Следовательно, функциональная недогрузка нижних конечностей в условиях невесомости является, по-видимому, основной причиной возможных изменений в антигравитационных мышцах [Какурин Л. И. и др., 1978; Тишлер В. А., Степанцов В. И., 1980]. В экспериментах на животных, находившихся на биоспутниках серии «Космос» и в условиях гипокинезии, получены результаты, свидетельствующие о нарушении обмена белков, жиров и углеводов, обусловленном снижением ферментативной активности и изменением условий гемодинамики в скелетных мышцах. Установлено также, что развивающиеся изменения адекватны функциональной специализации отдельных мышечных групп [Португалов В. В. и др., 1976; Kozlovskaya J. B. et al., 1981].

Изучение мышечной силы кистей рук. Выполнение космонавтами рабочих операций вне корабля в различные сроки пребывания в невесомости повышает интерес исследователей к динамике функционального состояния мышц верхних конечностей, играющих существенную роль в этих условиях. В период подготовки к космическим полетам было установлено, что мышечная сила кистей рук (среднем из 11 наблюдений) при горизонтальном полете на самолете после надевания спецснаряжения уменьшилась с 43 до 32 кг, а в условиях кратковременной невесомости еще на 4 кг. Однако во время полетов на орбитальных станциях «Салют-3» и «Салют-4» мышечная сила кистей рук у космонавтов, особенно во второй половине полета, существенно не изменялась, а у одного из них в большинстве замеров была даже больше исходных величин. Данные, полученные во время полета комплекса «Салют-6» — «Союз», свидетельствуют о том, что во время длительного пребывания в условиях невесомости закономерных изменений силы мышц верхних конечностей не происходило. Как правило, разница текущих показателей с фоновыми величинами была несущественной и составляла около 5—6 кг. У отдельных космонавтов, уделявших большое внимание специальным упражнениям с эспандерами на протяжении всего полета, сила кистей рук на 12—20 кг превышала предполетные показатели. Следует, однако, учитывать, что во время пребывания в специальном снаряжении в силу значительного сопротивления сжатию элементов изделия мышечная сила кистей рук заметно уменьшается. Так, при выполнении пробы с динамометром на 170-е сутки полета в скафандре сила кистей рук у космонавта ОЭ-4 «Салют-6» уменьшилась в 2 раза. Правой рукой он выжал 38 кг, а левой — 35 кг (до надевания скафандра соответственно 74 и 68 кг).

* *
*

Таким образом, анализ полученных нами и имеющихся в доступной нам литературе антропометрических данных показывает, что:

— в большинстве случаев МТ космонавтов во время полета уменьшалась, изменения ее были умеренными и лишь у отдельных космонавтов составляли 8—9% от предполетных значений. В значительно меньшем числе случаев наблюдалось незначительное увеличение МТ. Зависимости величины изменений МТ от длительности полета не выявлено;

— объем нижних конечностей в условиях невесомости уменьшался у всех обследованных космонавтов. В остром периоде адаптации этот процесс в основном обусловливался перемещением жидких сред организма в краниальном направлении, а позднее — в ряде случаев атрофическими явлениями в некоторых группах антигравитационной мускулатуры. Следует отметить, что изменения максимального периметра голени соответствовали изменениям ее объема;

— по данным динамометрии сила кистей рук при соответствующей тренировке практически не изменялась. Снижение показателей, зафиксированное в ряде случаев, было обусловлено в основном необходимостью преодолевать сопротивление элементов специального снаряжения.

Раздел III
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В НЕВЕСОМОСТИ

РЕЖИМ ТРУДА И ОТДЫХА КОСМОНАВТОВ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ

Практика пилотируемой космонавтики вызвала к жизни важное направление космической медицины — психофизиологическое проектирование распорядка деятельности экипажей космических летательных аппаратов. Оптимальный режим труда и отдыха следует рассматривать как наиболее радикальное и физиологичное средство сохранения здоровья и поддержания высокой работоспособности космонавтов, как залог успешного выполнения полетной программы.

Основное содержание деятельности на орбите ныне составляют те или иные разновидности монтажных и операторских работ, поэтому каждые сутки космического полета целесообразно рассматривать и как своеобразный испытательный полигон, позволяющий отрабатывать наиболее эффективные чередования труда и отдыха и обеспечить наивысшую производительность труда представителям массовых профессий, имеющим дело с современной техникой (операторы-программисты ЭВМ, сборщики, наладчики, монтажники и т. д.).

Мы проанализировали организацию и методы контроля за режимом труда и отдыха (РТО) космонавтов 1—3-й и 4-й основных экспедиций (ОЭ) на орбитальной станции «Салют-7» и основные результаты медицинских и психологических наблюдений за выполнением космонавтами РТО в этих экспедициях.

Организация и методы контроля за РТО. При осуществлении контроля за РТО учитывалась планируемая и фактическая продолжительность рабочего времени, отдыха, сна, физических упражнений и других элементов РТО. Собирались данные о выполнении полетной программы, качестве профессиональной деятельности, уровне работоспособности членов экипажей. Оценивалась суточная и многодневная динамика работоспособности (и утомления). Оценивалось качество ночного сна, ежедневного и еженедельного отдыха. Проводилось наблюдение за суточным циклом сон — бодрствование, особенно за расположением зоны (периода) сна на суточной шкале времени.

Последней задаче уделялось особое внимание, так как в условиях длительного полета принципиальное значение приобрело обеспечение сохранности суточной ритмики физиологических функций. РТО космонавтов орбитальной станции «Салют-7» планировался на основе привычного 24-часового графика, без систематической миграции цикла сон — бодрствование. Однако

в ряде случаев особенности орбитального полета приводили к вынужденным эпизодическим сдвигам фазы этого цикла при таких ответственных работах, как старт, стыковка, выход в космос и др. Каждый такой сдвиг являлся фактором стресса. В этих случаях необходима была специальная работа по минимализации неблагоприятных последствий сдвигов цикла сон — бодрствование и по профилактике десинхроноза.

Фактическая продолжительность рабочего времени ориентировочно оценивалась по совокупности следующих данных: радиопереговоры с экипажем; теленаблюдения; данные специалистов групп управления, операторов связи и методистов. Наряду с учетом продолжительности рабочего времени тщательно прослеживалась степень заинтересованности членов экипажа различными видами работ, зависимость между наличием рабочей мотивации и эффективностью деятельности.

При оценке складывавшегося распорядка выявлялись индивидуальные особенности космонавтов: их личное предпочтение к выполнению определенных видов работ, особенности распределения времени в условиях нежестко регламентированной деятельности. Отмечалась склонность каждого из членов экипажа к вечерней или утренней активности, позволяющая судить о принадлежности к тому или иному биоритмологическому типу («сова» или «жаворонок»).

Специалисты, контролировавшие РТО, стремились к своевременному выявлению и ликвидации возможных причин развития переутомления у космонавтов. К числу таких причин относились, например, сдвиги зоны сна и сокращение его продолжительности, хронический дефицит времени, монотонность некоторых работ. Проводилась коррекция РТО в суточном и многодневном масштабе времени с учетом состояния членов экипажей в ходе выполнения полетной программы.

В контакте со специалистами-психоневрологами мы обращали прицельное внимание на выраженность субъективных и объективных симптомов утомления и переутомления у членов экипажей и в случае необходимости участвовали в назначении мер купирования неблагоприятных состояний.

При определении рабочей активности космонавтов в ночное время суток использовались косвенные данные — такие, как параметры системы энергопитания (ток нагрузки, ток подзарядки, емкость буферных батарей, время включения и выключения светильников) и параметры микроклимата (прежде всего парциальное давление углекислого газа), в частности, информативным показателем оказалась быстрота падения парциального давления углекислого газа после запланированного отхода экипажа ко сну. При наличии таких косвенных данных о рабочей активности операторов в ночное время характер и продолжительность возможной деятельности устанавливались по сообщениям с борта, уточнялись на основании консультаций с соответствующими техническими специалистами.

Важное место работ по контролю за РТО в общей системе медицинского обеспечения космического полета определяется тем обстоятельством, что управление состоянием членов экипажей осуществляется в первую очередь путем оперативной коррекции режима. Применение каких-либо других средств и методов лечебно-профилактического воздействия, включая медикаментозные, считается оправданным лишь после комплекса мероприятий, устанавливающих режим, адекватный текущему состоянию космонавтов.

Таким образом, функции специалистов по РТО отнюдь не сводились к простой констатации фактов, связанных с выполнением экипажами предписанного распорядка. Контроль за режимом труда и отдыха понимался как активный процесс, включающий: целенаправленное получение информации о реальном режиме; оперативный анализ этой информации; разработку, обоснование и проведение соответствующих мероприятий по оптимизации (оперативной коррекции) режима в ходе полета.

Практика убедительно показала необходимость участия специалистов по РТО во всех этапах планирования как кратких, так и длительных полетов.

Режим ОЭ-1 строился на тех же принципиальных основах, что и режим основных экспедиций на комплексе «Салют-6» — «Союз» [Макаров В. И., 1983], однако отличался от режима предшествующих длительных экспедиций введением 30-минутных визуальных наблюдений в состав ежедневных рабочих операций за счет времени на самообслуживание. В ходе этих наблюдений, регулярно выполнявшихся в рамках модифицированного РТО, космонавты ОЭ-1 получили около 20 тыс. снимков земной поверхности.

Приведем некоторые данные, касающиеся общей характеристики РТО. Режим планировался на основе 24-часового цикла с 9-часовой зоной сна по московскому времени (23.00—8.00). На утренний туалет отводилось 35 мин. Питание трехразовое — завтрак (40 мин), обед (40 мин), ужин (30 мин). На выполнение физических упражнений отводилось 2 ч 25 мин. Личное время (отдых) составляло 1 ч 40 мин в сутки — 50 мин после обеда и 50 мин перед отходом ко сну.

Общая продолжительность работы составила 8 ч 30 мин в сутки. Она складывалась из основных рабочих операций (4 ч 20 мин) и ежедневных рабочих операций (4 ч 10 мин).

К основным рабочим операциям (ОРО) относились: динамические операции, эксперименты (в том числе и биологические), ремонтно-восстановительные работы, техническое обслуживание и ремонт, санитарно-гигиенические мероприятия (душ и влажная уборка в субботу), разгрузочно-погрузочные и монтажно-демонтажные работы, подготовка к работе (до 1 ч), эпизодические работы (подготовка к телевизионным репортажам и др.).

К ежедневным рабочим операциям относились: осмотр станции (10 мин), обслуживание станции (30 мин), связь (1 ч 30 мин), визуальные наблюдения (30 мин), подготовка отчета (35 мин), ознакомление с программой следующих суток (30 мин), подготовка суточного рациона (25 мин).

Многодневным рабочим циклом была семидневная неделя с двумя днями отдыха, как правило, совпадающими с субботой и воскресеньем.

В ходе ОЭ-1 продолжительность рабочих операций фактически превышала планируемую вследствие проведения экипажем разнообразных инициативных и дополнительных работ. Их продолжительность не всегда поддавалась учету. Только за период с 75-х по 95-е сутки полета ОЭ-1 космонавты выполнили не менее 10 наименований дополнительных работ. Уже к 100-м суткам полета инициативных и дополнительных работ сверх установленного программой было выполнено примерно на 160 ч.

Выполнение штатной программы в полном объеме, а также неоднократные случаи проведения работ, экспериментов и наблюдений в инициативном порядке на протяжении всего полета явились ярким свидетельством сохранения высокой работоспособности экипажа. Члены ОЭ-1 инициативно маневрировали временем, чтобы выполнить максимальный объем работы.

По мере увеличения продолжительности полетов все отчетливее проявляются тенденции к снижению жесткости регламентации времени космонавтов, к автономному планированию экипажами распорядка деятельности, к относительному увеличению факультативной части работы в общем объеме работ. Наряду с операторской деятельностью члены первой экспедиции в немалой степени были заняты исследованиями, поисковыми работами. При этом режим космонавтов характеризовался особенностями, характерными для творческой деятельности. Наблюдались отсутствие четкой грани между работой и отдыхом, проблематичность точного учета продолжительности и напряженности работы, целесообразность использования гибкого графика работы. Как известно, при творческом характере работы отсутствует прямая зависимость между пунктуальностью и эффективностью. В творческом процессе большую роль играет произвольно организованный досуг.

При планировании и осуществлении РТО важнейшим принципом остается принцип ритма. Узловым моментом суточного распорядка является своевременный отход ко сну, хотя на ряде этапов полета планировались эпизодические сдвиги цикла сон — бодрствование, обусловленные баллистическими особенностями орбитального полета. При этом отход ко сну задерживался до 01—03 ч по московскому времени, а при выполнении выхода в открытый космос 29—30 июля 1982 г. отход ко сну после ночных работ был запланирован после 8 ч. Перед ночными работами и после них экипажу предоставлялись периоды отдыха и сна, достаточные по продолжительности для компенсации фи-

зиологических затрат, вызванных вынужденными отступлениями от ритма сна — бодрствования.

Совместная деятельность космонавтов планировалась на основе синхронизации одноименных элементов РТО основного экипажа и экипажа посещения (ЭП), находящихся на борту орбитального комплекса. Периоды подготовки к приему ЭП и совместных работ с ним характеризовались наибольшим за полет объемом и интенсивностью профессиональной деятельности основного экипажа. По-видимому, были эпизоды дефицита времени и сна. В течение 2—3 сут после отбытия ЭП у членов ОЭ-1 ночной сон продолжался 10—12 ч. Несомненне, что каждое посещение в какой-то мере нарушало сложившийся ритм жизни основного экипажа. Тем не менее уровень координированности деятельности с членами ЭП был высоким. Программы совместных работ были выполнены полностью. Успешное завершение работ с каждым из ЭП являлось для членов ОЭ-1 (как и для членов последующих ОЭ) мощным положительным эмоциональным зарядом, фактором повышения работоспособности.

Время сна периодически смещалось — задержки отхода ко сну и пробуждения составляли обычно 0,5—1 ч, иногда 1,5—2 ч. Естественно, что на протяжении 211 сут наблюдались и многодневные колебания уровня работоспособности членов экипажа. В причине этих колебаний пока трудно дифференцировать роль факторов полета и эндогенных инфрадианных (многодневных) биологических ритмов. Однако экспериментальные исследования последних лет свидетельствуют о немалой роли инфрадианных ритмов в формировании текущего состояния человека [Макаров В. И., 1986].

Экспериментально установленный факт инфрадианных периодических изменений структуры суточного цикла послужил основанием для разработки мероприятий по оперативной коррекции РТО в многодневном масштабе времени. Так, в течение ряда суток членам ОЭ-1 разрешалось пролонгировать сон до естественного пробуждения. В целях обеспечения соответствия структуры суточного цикла сон — бодрствование фазе многодневных колебаний было принято решение о планировании зоны ночного сна в дни отдыха до 10 ч утра. Данные мероприятия, по оценке космонавтов, благоприятно сказались на их самочувствии и работоспособности. Вопросы РТО нашли отражение в «Дневнике космонавта», который на протяжении 211 сут полета вел бортинженер [Лебедев В. В., 1984, 1985].

Режим ОЭ-2. Особенностью режима для 150-суточного полета ОЭ-2 явилось дальнейшее увеличение продолжительности основных рабочих операций до 6 ч 30 мин. При этом космонавты сохраняли высокую работоспособность на протяжении всего полета и выполнили в полном объему программу, состоявшую из нескольких сот экспериментов (геофизических, астрофизических, биологических, кино- и фотосъемки).

На примере данной экспедиции можно показать насыщенность и разнообразие полетных программ, выполнявшихся экипажами «Салюта-7». Были выполнены 14 сеансов по изучению процессов тепло- и массопереноса, 19 экспериментов на установке «Электротопограф», обширная целевая серия (43 сеанса) фотографирования и спектрометрирования поверхности суши и океана. Сделано свыше 3000 спектрозональных снимков фотоаппаратом МКФ-6М, до 100 снимков — КАТЭ-140. Проведена серия биологических экспериментов на установках «Оазис», «Светоблок», «Биогравистат», «Медуза», «Гель». На электрофоретической установке «Таврия» впервые получены образцы белкового препарата из оболочек вирусов.

Экипаж произвел разгрузку 2780 кг грузов, доставленных грузовым кораблем «Космос-1443», и отправил с ним перед возвращением материалы научных исследований и аппаратуру массой 350 кг.

Была выполнена серия прикладных экспериментов, представляющих интерес для народного хозяйства.

Высокая работоспособность была продемонстрирована членами экипажа 1 и 3 ноября 1983 г. при установке дополнительных солнечных батарей вне корабля. Эта работа отличалась повышенной сложностью и выполнялась впервые.

В первые 10 сут полета планируемая продолжительность основных рабочих операций, как и для первой экспедиции, составляла 4 ч 20 мин. Относительно ненапряженная циклограмма первых дней способствовала успешной адаптации. При этом положительную роль сыграл опыт работы командира экспедиции в составе ОЭ-3 комплекса «Салют-6» — «Союз» (1979 г.) и бортинженера — в качестве сменного руководителя полета.

С 7 июня 1983 г. (11-е сутки полета) на основные рабочие операции было отведено 6 ч 30 мин. Для работ, выполняемых впервые или после перерыва в 60 сут и более, на подготовку выделялся 1 ч, собственно на работу — 5 ч, в конце рабочего дня планировался резерв времени 30 мин.

Переработки в течение первого месяца полета были невелики — от 1 до 5 ч в неделю. Они были сопряжены большей частью не с дефектами планирования, а с инициативными дополнительными работами, которые экипаж выполнял и в дни отдыха. Косвенные данные, в том числе и телеметрическая информация, указывали на высокую сверхштатную активность космонавтов, причем эта активность не всегда поддавалась количественному учету. Нередко в часы предписанного сна экипаж включал и выключал аппаратуру, перемещался по станции.

Члены экипажа творчески перераспределяли свое время. Для предотвращения ситуации нехватки времени те или иные работы иногда начинали выполнять заблаговременно, накануне. Космонавты указывали, что «обстановка на борту разная в зависимости от работы. Желательно, чтобы она менялась реже». Избыточное разнообразие работ создавало трудности при пере-

ходах от выполнения одного элемента циклограммы к другому. В этой связи командир экспедиции сделал вывод: «Лучше специализированные экспедиции».

По заключению заместителя руководителя полетов В. Д. Благова, ни один из летавших ранее экипажей не выполнял за первые 30 сут полета столь большого объема работ, как члены ОЭ-2. По истечении 1-го месяца полета командир считал, что он устал больше, чем за тот же период работы в ОЭ-3 на «Салюте-6».

В ходе 2-го месяца полета переработки по сравнению с планом достигали 10 ч в неделю. Ведущей причиной являлся интенсивный рабочий радиообмен. Обсуждались результаты выполненных и уточнялись особенности предстоящих работ. Начиная со 2-го месяца увеличилась неравномерность планирования рабочей нагрузки от суток к суткам. Это обстоятельство нашло свое отражение в оценках экипажа. Так, 12 августа 1983 г. командир сообщил о перегруженности циклограммы: «У нас вообще все время гонка, а 3 дня уже скачка». А уже 17 августа 1983 г. он высказал в форме шутки замечание о недостаточности рабочей нагрузки: «Очень «тяжелый» день (смех). Не знали куда себя деть. Хорошо, хоть работа с магнитофоном подвернулась».

В период с 9 до 22 августа 1983 г. (44—57-е сутки полета) продолжительность основных рабочих операций сократили (по плану) до 5 ч, а после 57-х суток полета ее вновь увеличили до 6 ч 30 мин. Однако это не повлияло отрицательно на уровень работоспособности экипажа. Примечательно, что в этот период особенно четко наблюдалось восстановление функциональных резервов организма космонавтов после полноценных дней отдыха.

В соответствии с программой полета с 28 августа 1983 г. (63-е сутки) для обеспечения прикладных экспериментов были начаты сдвиги суточного цикла сон — бодрствование. Фаза цикла смещалась против часовой стрелки на величины, колебавшиеся от суток к суткам,— от 4 до 7,5 ч. Из анализа радиопереговоров следовало, что космонавты не смогли адаптироваться к предложенному распорядку, характеризовавшемуся миграцией зоны сна по суточной шкале. Экипаж просил стабилизировать зону сна и в интервалах между сериями прикладных экспериментов не возвращать ее каждый раз к исходному московскому времени: «Лучше в перевернутом режиме дальше идти... Это «дерганье» ни к чему». После прекращения прикладных экспериментов, связанных с нарушениями исходного цикла сон — бодрствование, экипаж еще 2—3 дня отмечал усталость.

Показательно, что в дальнейшем (18 сентября 1983 г.) в ответ на вопрос о том, насколько экипаж удовлетворен циклограммой, разгруженной от прикладных экспериментов, командир ответил: «Слишком спокойно... Нехорошо в таком режиме». В этих словах ярко проявилась мотивационная установка экипажа на интенсивную работу. Такой период с невысокой производственной загруженностью продлился примерно до 100—110 суток полета.

Несмотря на возросшую нагрузку в период подготовки к операциям по выходу в открытый космос (15—30 октября 1983 г.), режим в целом соблюдался. Положительную роль сыграли, во-первых, ответственное отношение экипажа к предстоящей работе и, во-вторых, упрочившийся навык самоорганизации режима. Экипаж активно следил за поддержанием структуры режима и противодействовал ее изменениям. Подчас весьма эмоционально предъявлялись жалобы на вынужденно высокий темп работы и на отклонения от оптимальной организации деятельности. Критиковались совмещенные режимы деятельности и разноплановые работы.

Космонавты ощущали недостаток времени для вдумчивого, достаточно глубокого осмысленного выполнения рабочих операций — для создания так называемой концептуальной модели деятельности. В условиях дефицита времени на первый план несоразмерно выдвигался чисто исполнительский аспект работы.

Несмотря на указанные обстоятельства, весьма поучительные для планирования режима в последующих полетах, сложившийся распорядок деятельности обеспечил сохранение высокой работоспособности космонавтов при выходах в открытый космос 1 и 3 ноября 1983 г. Две операции «Выход» были разделены лишь суточным интервалом. Цикл сон — бодрствование смещался влево примерно на 7 ч: продолжительность основной работы превышала 10 ч в сутки. Тем не менее сложные и ответственные работы вне станции были выполнены полностью. Общая продолжительность пребывания в открытом космическом пространстве для каждого составила 5 ч 44 мин.

Заключительный период полета ОЭ-2 — от операций «Выход» 1 и 3 ноября до спуска 23 ноября 1983 г.— характеризовался повышающейся загруженностью рабочей зоны, превышающей допустимый для данного этапа номинал основных рабочих операций (5 ч 30 мин). При этом планировались и эпизодические ночные работы. В интересах увеличения объема основных работ операции по подготовке к возвращению на Землю были отложены на последние дни. Заключительная часть программы была выполнена экипажем ценой весьма высокой интенсификации труда. Перегруженная на данном этапе циклограмма резко и неоднократно критиковалась экипажем.

По окончании полета экипаж ОЭ-2 предъявил к режиму, в частности, следующие замечания: в дни медицинского осмотра недопустимо планирование других работ; между сериями ночных работ необходимо предоставлять экипажу 2—3 сут отдыха; интервал между операциями «Выход» целесообразно выдерживать не менее 2 сут; в случае проведения новых работ следует увеличивать время на ознакомление с программой следующих суток с 30 мин до 1 ч.

В целом режим с продолжительностью основных рабочих операций в 6 ч 30 мин зарекомендовал себя как приемлемый для использования в длительных полетах. Полученные в ходе обеспечения ОЭ-2 данные по планированию РТО были учтены при уточнении и согласовании РТО для ОЭ-3.

Режим ОЭ-3. Рабочая зона членов ОЭ-3 номинально планировалась продолжительностью до 8 ч 30 мин, зона сна — 9 ч (с 23.00 до 8.00). В этом отношении режим дня не отличался от режима предшествующей экспедиции. Продолжительность основных рабочих операций составляла 6 ч 30 мин.

Важной особенностью режима стали значительные сдвиги суточного цикла сон — бодрствование: эпизодические — при выполнении операций «Выход» и дозаправки, систематические — при выполнении прикладных экспериментов. Величина этих сдвигов была в среднем 4 ч, а их число составляло не более 5. В пределах серий ночных работ, продолжавшихся в среднем 6 сут каждая, время отхода ко сну от суток к суткам не смещалось более чем на ±30 мин, чем исключалась неблагоприятная ситуация так называемых мигрирующих суток. В сутки отдыха между сериями ночных работ космонавтам рекомендовался ритм сна — бодрствования, соответствующий планируемому для следующей серии.

Следует указать, что последовательно выполняемые в среднем через 6 сут однонаправленные сдвиги суточного цикла против часовой стрелки каждый на 4 ч относительно предыдущего оказывают отчетливое неблагоприятное влияние на общее состояние и работоспособность человека. Так, в ходе одного из исследований с участием трех специалистов-добровольцев, в течение месяца использовавших подобный режим, были отмечены прежде всего жалобы на нарушение сна (затрудненное засыпание и преждевременное пробуждение), а также повышенная колеблемость вегетативных показателей, субъективное снижение работоспособности и объективное снижение продуктивных показателей деятельности на 15—20%.

Из анализа радиопереговоров с космонавтами ОЭ-3 следует, что в первые 3—4 сут после каждого сдвига РТО на 4 ч и более влево они отмечали желание спать в периоды предписанного бодрствования, неоднократные пробуждения в периоды предписанного сна, ощущения дискомфорта и вялости. Это ограничивало возможность выполнения профилактических мероприятий (физических упражнений) в заданном объеме.

Отмечалось также нарушение обычного суточного поведенческого стереотипа. Так, в рамках «сдвинутых» суток космонавты не могли использовать бортовые средства психологической поддержки (видеомагнитофон). Изменилось субъективное восприятие темпа течения времени: членам экипажа казалось, что время идет медленнее, чем обычно. Космонавты указывали, что при сдвигах режима дни отдыха тянутся «мучительно медленно». Космонавты отказывались от предлагаемых им дополнительных дней отдыха и высказывали желание, чтобы их больше загружали работой.

В ходе ОЭ-3 впервые использовался метод шестипозиционной пятибалльной экспертной оценки психологического состояния членов экипажа. При этом дежурные врачи-психоневрологи на каждом сеансе связи оценивали состояние космонавтов по следующим показателям: самочувствие, активность, настроение, характер общения (доброжелательность — агрессивность), интерес к деятельности, уверенность. Оценка производилась по пятибалльной шкале.

Был проведен анализ динамики показателя суммы всех позиций для каждого из членов экипажа в период, предшествовавший сдвигам режима, и непосредственно во время сдвигов. Установлено, что во второй половине периода сдвигов участилось появление как экстремально низких, так и экстремально высоких оценок у всех космонавтов.

В целом в период сдвигов РТО выявлено увеличение суммарного показателя психического состояния у всех членов экипажа ЭО-3, что скорее всего объясняется успехом важных прикладных экспериментов, проводившихся на фоне сдвинутого режима.

В интересах оценки степени адаптации космонавтов к сдвигам РТО проводился сравнительный анализ изменений содержания углекислого газа в атмосфере орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз-Т» за месячный период, предшествовавший сдвигам РТО, и за период сдвигов. При этом исходили из того, что изменения парциального давления углекислоты отражают динамику энерготрат и прежде всего двигательную активность экипажа.

При анализе материалов медицинского и медико-психологического наблюдения за состоянием и работоспособностью членов экипажа ЭО-3 была проведена комплексная оценка степени зависимости ряда психологических показателей от некоторых факторов РТО в условиях обычного и измененного режимов. К изучавшимся показателям РТО, в частности, относились: продолжительность рабочей зоны, продолжительность зоны ночного сна, величина сдвига зоны ночного сна (относительно ее номинального положения на суточной шкале). Среди психологических показателей для каждого из космонавтов индивидуально определялись: речевая продуктивность и инициативность (среднесуточные значения), суммарный показатель шестипозиционной балльной оценки психологического состояния (значения на первом сеансе связи после пробуждения и среднесуточные) и др. В условиях сдвигов суточного цикла по сравнению с периодом вне сдвигов наблюдались более высокие коэффициенты множественной корреляции между значениями факторов режима и величинами изучавшихся психологических показателей. Следовательно, условия сдвигов сделали зависимость функционального состояния космонавтов от структуры режима более значи-

тельной и непосредственной, чем обычно. Приведенные данные свидетельствуют о затрудненной адаптации космонавтов к сдвигам суточного цикла.

По истечении 3—4 сут после начала перестройки в режиме наступало, казалось бы, субъективное благополучие. Однако следует отметить, что на фоне высокой заинтересованности в качественном выполнении текущей работы члены экипажа обсуждали сдвиги цикла сон — бодрствование прежде всего (а в большинстве случаев — только) с точки зрения пригодности распорядка для выполнения работ, а не с позиций субъективной переносимости этих сдвигов.

Сколько-либо существенных операторских ошибок в период «сдвинутого» режима допущено не было. Прикладные эксперименты выполнялись зачетно. Переход к обычному суточному распорядку, осуществленный однократным импульсным сдвигом, сопровождался жалобами на плохое качество сна лишь на протяжении 1—2-х суток, после чего жалобы прекратились.

Накопленные данные позволяют констатировать неблагоприятное действие сдвигов суточного цикла.

Высокий уровень мотивации членов экипажа способствовал быстрому восстановлению после физических и нервно-психических нагрузок, обусловленных шестью операциями «Выход». Пять из них (23, 26 и 29 апреля, 4 мая и 8 августа 1984 г.) были предприняты для проведения ремонтно-восстановительных работ с топливной магистралью объединенной двигательной установки, а одна (18 мая 1984 г.) — для установки дополнительной солнечной батареи. Общая продолжительность работы вне станции командира и бортинженера составила 22 ч 50 мин. С каждой очередной операцией «Выход» наглядно прослеживалась положительная динамика овладения сложными навыками внекорабельной деятельности, возрастали уверенность и координированность действий членов экипажа. Отклонения от обычного режима, связанные с ночными выходами в космос, компенсировались предоставлением дополнительных зон отдыха и не повлекли за собой ухудшения функционального состояния и работоспособности космонавтов.

Периоды совместной деятельности ОЭ-3 с ЭП-3-1 3—10 апреля 1984 г. и с ЭП-3-2 19—30 июля 1984 г. были отмечены значительной рабочей нагрузкой, дефицитом времени и дефицитом сна, продолжительность которого сокращалась до 5—6 ч. В сутки после отбытия экспедиций посещения члены ОЭ-3 спали непрерывно не менее 12 ч подряд.

В целях профилактики переутомления и с учетом пожеланий космонавтов с 2 сентября 1984 г. рабочая зона была сокращена на 1 ч (с 8 ч 30 мин до 7 ч 30 мин), а зона сна, отдыха увеличена до 10 ч. С 18 сентября 1984 г. рабочая зона была сокращена еще на 30 мин (до 7 ч).

Отступления от запланированного режима были обусловлены желанием космонавтов в возможно полном объеме и на высоком уровне выполнить предписанные работы, что они нередко делали за счет личного времени. Однако узловые моменты складывавшегося режима в целом соответствовали запланированному.

Профессиональные действия оставались в течение всего полета эффективными и обеспечивали выполнение программы в регламентированные сроки. Наблюдений, свидетельствовавших о прогрессирующем развитии утомления, в течение 237-суточного полета не было. Таким образом, есть основания говорить о сохранении достаточно высокой работоспособности космонавтов ОЭ-3.

Режим ОЭ-4. После стыковки с некооперирующейся станцией «Салют-7» и перехода на ее борт перед членами экипажа ОЭ-4-1 встала необходимость выполнения большого объема разнообразных работ по восстановлению работоспособности станции. Учитывая, что от результата этой работы зависела возможность дальнейшего использования станции, было принято допустимым в первые 10 сут полета планирование рабочей зоны продолжительностью до 8 ч 30 мин — без традиционного сокращения на 50%. В распорядок жизни внесла существенные коррективы и низкая температура в рабочем отсеке станции, непрерывное пребывание в котором допускалось на протяжении не свыше 2 ч (при температуре +5 °C и ниже), после чего планировался переход космонавтов в транспортный корабль для обогревания на протяжении не менее 0,5 ч. Суммарное время пребывания в рабочем отсеке при указанной температуре устанавливалось не свыше 6—8 ч/сут.

Однако фактически работа продолжалась по 10—12 ч/сут, и не только в период восстановления работоспособности систем, но и на некоторых последующих этапах полета. Так, 22 июля 1985 г. экипаж доложил, что 2 ч в сутки они затрачивают на обеспечение бытовых потребностей, 1,5—2 ч они выполняют физические упражнения, а на сон приходится 7—8 ч. Остальные примерно 12 ч заняты работой. В качестве особенностей РТО, характеризующих его фактическое выполнение, необходимо отметить непосредственную зависимость плана каждых последующих суток от результатов работы в предшествующие сутки. Операции по диагностике неисправностей и восстановлению работоспособности систем станции было трудно регламентировать. Неустроенность быта и загруженность интерьера станции приводили к непроизводительным расходам времени.

Трудности работы экипажа учитывали: в дни отдыха космонавтов не будили и сон продолжался до естественного пробуждения. Дважды предоставляли дополнительные дни отдыха, частично компенсировавшие переработки, суммарная величина которых за период работы первой группы 4-й основной экспедиции составила не менее 92 ч, т. е. около 1 ч в день.

Экипаж стремился сохранять правильный ритм сна — бодрствования. Трудно переоценить в этом отношении значение пред-

шествующего опыта космонавта В. А. Джанибекова — участника пяти космических экспедиций, который еще на первой неделе полета заявил: «Все на борту идет периодически — и работа, и прием пищи, и физические упражнения, и сон». Хорошую сохранность функциональных резервов экипаж продемонстрировал 2 августа 1985 г. при осуществлении выхода в открытый космос с целью установки дополнительной солнечной батареи.

В период совместной деятельности основной экспедиции и экспедиции посещения (19—24 сентября 1985 г.) продолжительность основных рабочих операций для командира ОЭ-4-1 была по плану сокращена на 2 ч до 4 ч 30 мин, а общая продолжительность рабочей зоны для него составила 6 ч 30 мин. Для других членов смешанного экипажа планировалась рабочая зона продолжительностью 8 ч 30 мин. Все виды работ, превышающие указанные номиналы, считались факультативными и выполнялись только по желанию экипажа. Тем не менее и в этом полете не удалось избежать дефицита сна перед посадкой, особенно для одного из космонавтов, проявлявшего выдающуюся профессиональную активность на всем протяжении экспедиции.

В течение работы второй группы ОЭ-4, частично сменившей на борту станции «Салют-7» предшествующий экипаж (бортинженер которого продолжил работу вместе с вновь прибывшими командиром и космонавтом-исследователем), продолжительность рабочей зоны планировалась в пределах 8 ч 30 мин, из которых работа со связью занимала 6—6,5 ч.

Данные о переработках за весь период ОЭ-4-2 были единичными. Вместе с тем имелись неоднократные указания на выполнение инициативных работ, продолжительность которых не поддавалась учету. Так, 19 октября 1985 г. В. П. Савиных высказывал замечания по поводу отмены ориентации станции в выходные дни, что свидетельствовало о его желании проводить в эти дни наблюдения по личному плану. 8 ноября 1985 г., несмотря на день отдыха, он заявил в одном из утренних сеансов связи: «Хватит праздновать, надо работать».

В условиях напряженной деятельности по консервации станции и укладке возвращаемого оборудования космонавты умело и рационально перераспределяли время сообразно требованиям обстановки. Усталость, возникавшая к концу дня в ходе завершающихся 2—3-х суток полета, была адекватна объему и интенсивности рабочих нагрузок. Интересно в этом отношении высказывание А. А. Волкова, сделанное им перед завершением полета: «За эти два дня чувство такое же, как после хорошей-хорошей летной смены — идешь домой, еле ноги волочишь». В свете данного признания следует понимать ироническое отрицание факта переработки. В. Н. Савиных сказал: «Какие переработки? Их за всю работу не было!» Резервы работоспособности, сохранившиеся у членов экипажа в условиях напряженного режима на этапе консервации, были достаточными для четкого выполнения заключительных операций полета.

Такова хроника планирования и выполнения РТО членами основных экспедиций, работавших на борту орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз-Т» в 1982—1985 гг. В комментариях к одному из этапов этой хроники — полету ОЭ-2 — К. П. Феоктистов и А. А. Лонгов (1984) писали: «Инженерам и врачам хотелось найти ту «золотую» середину, когда экипаж максимально загружен работой в течение рабочего дня и в то же время сохраняет высокую работоспособность на протяжении всего полета. Хотелось понять, какой цикл труда и отдыха предпочтительнее — недельный или, может быть, такой, при котором три дня работы перемежаются днем отдыха. Сколько дней отдыха должно быть в неделю — два или достаточно одного? Целесообразно ли смещать циклы сон — бодрствование в течение суток?» Ставя эти вопросы, авторы указывали, что для экипажей планируются и ночные работы, и работы с увеличенной рабочей зоной в течение суток, и серии ответственных операций с высокой эмоциональной нагрузкой; планируются рабочие зоны с частыми переключениями от одного вида деятельности к другому и рабочие зоны, когда экипаж занимается только одной работой (например, выход в космос).

Члены всех четырех основных экспедиций на орбитальной станции «Салют-7» успешно справились со своими обязанностями испытателей РТО. Результаты завершившихся полетов, как это справедливо отмечалось, дают возможность оценить достоинства и недостатки выбранной схемы режима, использовать опыт космонавтов при составлении программ новых экспедиций, уточнить оптимальные соотношения продолжительности полета и загруженности экипажа.

Суммируя опыт обеспечения полетов продолжительностью до 8 мес, представляется возможным выделить некоторые апробированные в них положения по организации деятельности космонавтов.

Завершенность жизненных циклов — целевых программ, периодов трудовой активности, в течение которых достигается большой целостный результат,— следует рассматривать как важнейшее условие душевного благополучия и соматического здоровья человека. Напротив, незавершенность циклов рабочей активности, ее фрагментарность, неполучение положительного и/или определенного результата от приложения трудовых усилий является фактором дистресса и невротизации. Сформулированные представления основываются на концепции Г. Селье (1979) о стрессе и дистрессе и теории функциональных систем П. К. Анохина (1976).

Последовательная завершенность отдельных этапов космической программы выступает для членов экипажей значительной субъективной предпосылкой лучшей переносимости условий полета.

С этих позиций следует соизмерять эффекты утомления, наступающего от длительной, трудной и напряженной, но успеш-

ной работы (эф-стресс, по Г. Селье), и дистресс незавершенности или неуспешности деятельности в рамках формального щадящего режима. Опыт полетов показывает, что члены экипажей зачастую сознательно идут на переработки, жертвуют личным временем и даже сном, стремясь избежать крайне тягостной для высокомотивированных личностей незавершенности начатого дела. В этих случаях переработки переносятся легче, чем недоделки, недоработки, неуспех или неопределенность результата.

Отсюда вытекает важность «обратной связи» — своевременного полного информирования членов экипажей о результатах выполняемых работ. Подобная «обратная связь» выступает одной из наиболее эффективных форм психологической поддержки.

Безусловно, стрессорные программные факторы полетов — такие как выходы в космос, большая продолжительность рабочей зоны, сдвиги суточного цикла — несут в себе предпосылки развития утомления, переутомления и астенизации космонавтов. Вместе с тем достаточная (но неизбыточная) величина рабочих нагрузок облегчает адаптацию к условиям полетов. Утомление, наступающее в космосе к концу рабочего дня, как и на Земле, служит естественным стимулятором восстановительных процессов, обеспечивает глубокий сон. Другими словами, правильно спланированная рабочая нагрузка должна рассматриваться как один из способов поддержания здоровья и высокой работоспособности космонавтов.

В полетах была продемонстрирована тесная зависимость эффективности восстановительных мероприятий, входящих в суточный распорядок космонавтов, от величины предшествующей им рабочей нагрузки. Кстати, информативным поведенческим признаком купирования утомления в дни отдыха является проявление космонавтами самостоятельной рабочей активности, первоначально направляемой на приведение в порядок интерьера станции, уборку, самообслуживание, санитарно-гигиенические мероприятия.

При всей пользе периодически предоставляемых дней отдыха, разгруженных от обязательных работ, не следует злоупотреблять предоставлением дополнительных дней отдыха и абсолютизировать их как средство профилактики переутомления. Известно, что и в наземных условиях наличие избыточного незанятого времени нередко провоцирует в малых группах неблагоприятные феномены — ухудшение психического состояния, конфликтность. Выделяют даже своеобразный «невроз выходного дня», отчетливо проявляющийся, например, в некоторых семьях. В ходе полетов космонавты нелегко переносили вынужденные периоды лишения рабочей нагрузки; в дни отдыха, если они были в избытке, приходило тягостное ощущение замедленного течения времени.

Условия полета переносились лучше в тех случаях, когда наряду со штатной программой космонавты имели возможность

в свободные дни и часы выполнять по своей инициативе факультативные работы. Они, видимо, являются существенным условием для поддержания сбалансированности психологических реакций, точно так же как и периоды самоуглубления, созерцательного отдыха. Поэтому в структуре РТО космонавтов личное время остается неотъемлемо важным элементом.

В симптоматике утомления, наблюдаемого в ходе длительных полетов, выделяется лабильность психического состояния и рабочей активности. Ныне эти явления находят объяснения с позиций хронобиологии. Показано, что во время стрессовых состояний больше обычного выражены эволюционно более древние ритмы — околочасовые и декаминутные. При хроническом утомлении усугубляются имеющиеся и в интактном состоянии периодические подъемы — спады уровня бодрствования. В случае некоторого дефицита ночного сна такие приступы сонливости во время предписанного бодрствования становятся труднопреодолимыми, особенно при монотонной работе, и могут серьезно препятствовать операторской деятельности. Следует добавить, что в этих ситуациях повышается значение и целесообразность дополнительного дневного сна (отдыха), совмещенного с послеобеденным спадом. Кратковременный дневной сон широко используется представителями разных профессиональных групп (полярники, моряки) в сложных условиях существования.

Перспектива оптимизации распорядка деятельности космонавтов связана с разработкой адаптивных РТО, гибко и динамично подстраивающихся под изменения функционального состояния человека таким образом, чтобы обеспечить наивысший уровень эффективности и надежности системы «человек — космический корабль».

МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ КОСМОНАВТОВ В ОТКРЫТОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Медико-биологическое обеспечение работы человека при выходе в космическое пространство направлено на создание безопасности, поддержание высокой работоспособности космонавта, а в экстренных случаях и на оказание медицинской помощи и консультаций по лечебно-профилактическим мероприятиям. Поскольку при работе в скафандре нельзя полностью исключить вероятность возникновения аварийных ситуаций, требующих оказания медицинской помощи (гипоксия, гиперкапния, гипертермия, переутомление, болезнь декомпенсации), важно обучать экипажи основам само- и взаимоконтроля, подготавливать их к оказанию медицинской помощи применительно к условиям пребывания в скафандре. В практике, сложившейся в нашей стране, медицинское обеспечение непосредственно во время выхода и подготовки выхода в космическое пространство состоит из нескольких этапов.

Предварительно за несколько дней до предполагаемой операции проводится медицинское и психологическое обследование экипажа с целью определения его исходного функционального состояния и уровня работоспособности. Полученные при пробах с физической нагрузкой (велоэргометрия, ручная динамометрия) данные с учетом динамики психического статуса, а также жалоб на состояние здоровья позволяют дать заключение о степени готовности к выполнению намеченной программы. Непосредственно в день осуществления выхода в космос проводится дополнительное обследование состояния здоровья космонавта, после чего дается разрешение на одевание скафандров. При работе космонавта в скафандре осуществляется контроль за состоянием здоровья и техническими параметрами, непосредственно связанными с жизнедеятельностью человека. В качестве оперативной информации используются также данные радиообмена, в том числе доклады о самочувствии, и телевизионное наблюдение за поведением космонавтов. При обработке информации и подготовке рекомендаций производится сопоставление текущих данных с медицинскими показателями, зарегистрированными в процессе наземных тренировок и во время обследований в полете. Помимо передачи телеметрических измерений в Центр управления полетом, основные физиологические параметры (ЧСС, температура тела, а в ряде случаев и частота дыхания) отображаются на бортовых индикаторах. Это обеспечивает возможность контроля показателей самими космонавтами и, в частности, теми, кто непосредственно не участвует в выходе в космос. Это особенно важно, поскольку отдельные этапы работы в скафандре выполняются вне зоны связи и передачи телеметрической информации на Землю. На случай выхода контролируемых параметров за допустимые пределы предусмотрено выполнение рекомендаций, касающихся возможности дальнейшей работы, временного ее прекращения или снижения уровня физической активности (т. е. поглощения тепла костюмом, изменения теплосъема) и т. п. Кроме того, с учетом особенностей конструкции скафандров и деятельности вне герметичных отсеков отработан комплекс мероприятий по оказанию неотложной помощи при ухудшении здоровья или появлении жалоб на плохое самочувствие вплоть до эвакуации космонавта, утратившего работоспособность.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Ввиду принципиальной значимости объективной физиологической информации, передаваемой с помощью телеметрии, остановимся на методах медицинского контроля. При нахождении космонавта в скафандре регистрируются пневмограмма, электрокардиограмма, температура тела, а в ряде случаев и сейсмокардиограмма. Причем размещение датчиков и выбор электрокардиографических отведений обеспечивают минимальное искажение сигнала при выполнении космонавтами рабочих операций.

Метод определения температуры тела претерпел определенную эволюцию. Персонально регистрировалась температура в подмышечной области, затем применялась ректальная и оральная термометрия ($T_{ор}$). Определенные эксплуатационные неудобства этих методов привели к разработке метода непрерывной термометрии путем регистрации температуры тела в заушной области ($T_з$). При этом методе хорошо теплоизолированный термистор непосредственно контактирует с поверхностью кожи строго в заушной впадине. Дополнительная теплоизоляция и фиксация датчика осуществляются шлемофоном. Как показали специальные исследования, значения этого параметра в пределах 36,0$\pm$0,5 °С соответствуют оптимальному тепловому состоянию организма, а диапазон температур 34,5—37,5 °С характеризует границы допустимого теплового состояния [Кузнец Е. И., 1982]. В оптимальном диапазоне этот показатель соответствует средней температуре тела и является интегральным параметром, учитывающим температурный режим всего организма. Выход этого параметра за допустимые пределы свидетельствует о перегреве или переохлаждении организма. Информация о физиологическом состоянии дополняется также измерением ряда технических показателей, непосредственно связанных с жизнедеятельностью (давление в скафандре, изменение давления в кислородных баллонах, концентрация углекислоты, температура газовой среды, температуры воды на входе и выходе системы охлаждения). При этом, помимо непосредственно измеряемых параметров для оперативного контроля за уровнем физической активности, теплопродукции и тепловым состоянием космонавтов, рассчитывают показатели, непосредственно интересующие врачей. В частности, энерготраты могут определяться двумя путями.

Во-первых, по потреблению организмом кислорода. Этот параметр вычисляется по падению давления в баллонах с учетом реальных термодинамических свойств кислорода при высоком давлении (его коэффициента сжимаемости). Это возможно, так как величина утечек кислорода из скафандра по сравнению с его потреблением организмом мала и к тому же определяется космонавтами при предварительных проверках герметичности.

Во-вторых, энерготраты могут определяться по выделению углекислоты из организма. Этот показатель вычисляется по данным об объеме вентиляции и концентрации CO_2 в вентилирующем газе на входе и выходе блока очистки. Необходимые для расчета энерготрат средние значения дыхательного коэффициента и калорического эквивалента определяются по результатам наземных экспериментов или измеряются по отношению величины выделенного CO_2 к поглощенному O_2 непосредственно в период работы. Источниками ошибок в этом методе оценки энерготрат являются погрешности измерения давления O_2, утечки газа из скафандра, концентрации CO_2, расхода вентилирующего газа и выбор усредненного значения калорического экви-

валента. Однако, учитывая, что оценка энерготрат по показателям газообмена является в данных условиях лишь дополнением к прямым методам оценки физиологических параметров, этими погрешностями можно принебречь.

Для оценки теплового баланса параллельно с энерготратами организма определяется и величина теплосъема. Теплосъем, осуществляемый костюмом водяного охлаждения (КВО), рассчитывается по расходу воды в единицу времени и разности ее температуры на входе ($T_{КВО}$) и выходе из костюма. Расход воды в системе терморегулирования определяется заранее при предполетной подготовке скафандров, а также дополнительно контролируется космонавтами с помощью малогабаритного измерителя. Температурные параметры воды передаются по телеметрии. Часть теплосъема, осуществляемого вентилирующим газом, оценивается с учетом данных о расходе вентиляции, разности температур и влажности газа на входе и выходе из теплообменника. Источниками ошибок этого комплексного метода практически прямой калориметрии являются погрешности передаваемых по телеметрии данных о температуре воды и газа и неточность измерения расходов воды и газа, а также допущение постоянства точки росы на входе системы охлаждения и отсутствие прямых измерений тепловых потоков через оболочку скафандра.

Сравнение уровня теплосъема, энерготрат и изменений температуры тела позволяет количественно оценить адекватность поддержания температуры тела и качества терморегулирования. В целом с учетом принятых при расчетах допущениях, а также неточности измерений погрешность в оценке энерготрат и теплосъема составляет не более 20%, тогда как в лабораторных условиях она не превышает нескольких процентов. Дальнейшее совершенствование способов измерений и обработки телеметрической информации, безусловно, позволит повысить точность калориметрии для определения теплового баланса организма.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОСМОНАВТОВ ВНЕ КОРАБЛЯ

Медико-биологические проблемы оптимизации работоспособности человека в открытом космосе заслуживают специального исследования. Возрастает значение выходов для обслуживания, ремонта и сборки космических объектов вне их герметичных отсеков. При этом технические системы обеспечивают условия жизнедеятельности, близкие к нормальным, и допускают тем самым длительную работу человека в скафандре. Необходимо, однако, решение вопросов оптимизации трудовой деятельности в рассматриваемых экстремальных условиях. Основанием для разработки режимов труда и отдыха, обеспечивающих максимальный уровень работоспособности космонавтов, могут служить данные, полученные в реальных полетах и дополненные результатами испытаний и тренировок в условиях, моделирующих основные физические факторы полета. Важные значения для решения наиболее существенных медико-биологических и эргономических проблем имеют наблюдения над космонавтами во время деятельности вне корабля.

Перед выходом в открытый космос из корабля «Восход-2», осуществленным А. А. Леоновым, была показана принципиальная возможность целенаправленной деятельности человека за пределами космического летательного аппарата. Находясь 23 мин вне корабля, из них 12 мин в открытом космосе, космонавт не терял ориентации, его движения были достаточно координированы. Психофизиологическая характеристика внекорабельной деятельности (ВКД), проведенная космонавтом, показала, что основное значение для ориентации, в том числе при движениях, приобретает прежде всего зрительный анализатор, затем тактильная и наконец мышечно-суставная рецепция; минимальное значение имеет сигнализация со стороны вестибулярного и интероцептивного аппаратов [Леонов А. А., Лебедев В. И., 1965]. Крайне важной оказалась отработка системы фиксации с помощью фала. Определенные трудности возникли при работе по демонтированию киноаппаратуры. Это даже потребовало временного снижения давления в скафандре с 40 до 27 кПа с целью улучшения его подвижности. Кроме того, ввиду специфики конструкции корабля космонавту потребовались значительные физические усилия для того, чтобы войти обратно в шлюзовую камеру.

Ограниченные возможности системы терморегулирования скафандра привели к тому, что при возвращении в шлюзовую камеру, а затем в корабль космонавту было «жарко от нагрузки», отмечались обильное потоотделение и усталость. Хотя определение энерготрат в этом полете не производилось, было очевидно, что уровень теплопродукции был выше, чем эффективность системы вентиляции. Так, в период нахождения вне корабля температура тела космонавта, измерявшаяся в подмышечной области, повысилась до 37,6 °С, увеличившись тем самым по сравнению с уровнем на предыдущем витке полета на 1,4 °С. Только по окончании работы температура тела нормализовалась на уровне около 36,6 °С. Динамика остальных контролировавшихся физиологических параметров была аналогична. За 7 мин до открытия люка на этапе подготовки и шлюзования ЧСС колебалась от 87 до 90 в 1 мин, ЧД — от 18 до 24 в 1 мин, что не превышало величин, зарегистрированных при тренировках в самолете-лаборатории и термобарокамере. Однако сразу после открытия люка, за первые 6 мин вне корабля произошло увеличение ЧСС до 147—152 в 1 мин, ЧД до 27—36 в 1 мин, а, когда космонавту потребовались значительные физические усилия при демонтаже кинокамеры и возвращении в корабль, ЧСС возросла до 162 в 1 мин, а ЧД — до 36 в 1 мин. Только после закрытия люка и снижения уровня физической активности ЧСС и ЧД начали уменьшаться и спустя 4 мин нормализовались на

исходном уровне. При тренировках по имитации выхода в условиях термобарокамеры и самолета-лаборатории ЧСС у космонавта изменялась в пределах 70—108 в 1 мин, ЧД — от 12 до 26 в 1 мин, а температура тела повышалась не более чем на 0,8 °С. Такое различие с данными, полученными в космическом полете, безусловно, связано со значительной физической активностью и нервно-эмоциональным напряжением, потребовавшимся для осуществления программы выхода из корабля. О значимости последнего фактора свидетельствовали также специально проведенные спектральный анализ частотных составляющих радиопереговоров космонавтов и некоторые изменения электрокардиограммы и сейсмокардиограммы, хотя в целом состояние систем дыхания, кровообращения и ЦНС не имело выраженных отклонений от нормы.

Таким образом, был получен положительный ответ на вопрос о возможности работы космонавта в скафандре в космическом пространстве. На этом этапе были успешно решены и вопросы медицинского контроля состояния космонавта, находящегося вне космического корабля, обеспечена регистрация основных физиологических функций в реальном времени полета с помощью телеметрических устройств и бортовых индикаторов.

Из-за кратковременности первого выхода в открытый космос использовался вентиляционный скафандр с автономной системой обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) открытого типа, когда кислород, необходимый для дыхания, вентиляции и поддержания избыточного давления, «омывая» тело человека, нагреваясь и насыщаясь влагой и углекислым газом, выбрасывается из скафандра наружу. При планировании более продолжительных выходов в открытый космос возникла необходимость создания более экономичных регенерационных СОЖ, когда в специальных блоках происходят очистка вентиляционного газа от влаги, углекислоты и вредных примесей, его охлаждение, обогащение кислородом и последующее возвращение в контур вентиляции скафандра. Именно такая система регенерационного типа, рассчитанная на несколько часов работы в космосе, и была применена в скафандрах, которые обеспечили переход из космического корабля «Союз-5» в корабль «Союз-4» [Алексеев С. М., Уманский С. П., 1973].

В предполетной подготовке основное внимание было уделено отработке профессиональных навыков в условиях имитации невесомости. При этом учитывались существенные ограничения операторской деятельности человека в скафандре за счет уменьшения поля обзора, снижения подвижности и уменьшения тактильной чувствительности. Проводилась эргономическая оценка планируемых операций и системы фиксации космонавтов [Хрунов Е. В. и др., 1974]. Поскольку для отвода тепла от тела человека по-прежнему применялась только система вентиляции с ее ограниченными возможностями, методика тренировок была направлена также на равномерное распределение физической

активности по всему периоду работ, сокращение объема и облегчение физической нагрузки путем становления двигательных навыков, выработки оптимальной структуры движений и снижения энергоемкости основных рабочих операций. В результате этого при полетах на самолете-лаборатории энерготраты при всех контрольных и монтажных операциях не превышали 250± ±25 Вт (215±22 ккал/ч)[1] и достигали максимальных значений 442±34 Вт (381±29 ккал/ч) только при выполнении наиболее трудоемких элементов, связанных с перемещением по поручням во время имитации перехода.

Учитывая тот факт, что отдельные этапы программы предполагалось выполнять при полете вне зон наблюдения наземных пунктов, когда из физиологических показателей регистрировались лишь ЧСС и температура тела, было принято решение передать контроль в эти периоды непосредственно экипажу. Анализ состояния космонавтов в процессе выхода осуществлялся командирами космических кораблей по показаниям на автоматических пультах медицинского контроля, на которых, помимо информаций о ЧСС и температуре тела, была выведена световая, сигнализация о критических величинах этих параметров. Дополнительно на определенных этапах выхода проводился наземный контроль данных телеметрии по вневмограмме, электрокардиограмме, сейсмокардиограмме, ректальной температуре.

При непосредственной подготовке к выходу космонавтов корабля «Союз-5» физиологические показатели соответствовали полетной норме и величинам, наблюдавшимся в период наземных тренировок. Отмечалось лишь некоторое повышение ЧСС до 85—95 в 1 мин при увеличении физической активности, вызванной надеванием скафандра. В течение часа работы вне герметических отсеков и особенно во время перехода ЧСС и ЧД у космонавтов умеренно повышались, составляя в среднем соответственно 120 и 32 в 1 мин у одного космонавта и 127 и 27 в 1 мин у другого.

При анализе телеметрии не было выявлено каких-либо изменений формы ЭКГ и СКГ. Все изменения физиологических показателей в период подготовки к выходу и совершения перехода не были неожиданными и не имели существенного различия с данными, полученными в процессе отработки операции в наземных условиях [Воробьев Е. И. и др., 1969]. Энерготраты, рассчитанные по расходу кислорода за часовой период работы, составили в среднем 230 Вт (198 ккал/ч) у одного и 280 Вт (241 ккал/ч) у другого космонавта. Их колебания, полученные по анализу изменений концентрации CO_2 в вентилирующем газе, варьировали в диапазоне 100—490 Вт (86—422 ккал/ч). Несмотря на ощущение мышечной усталости, прежде всего в об-

[1] Здесь и далее в скобках даны результаты пересчета количества ватт (Вт) в килокалории в час (ккал/ч).

ласти кистей рук и плечевого пояса, космонавты отметили возможность значительно более продолжительной работы в открытом космосе. Однако усталость кистей рук затрудняла выполнение операций, требующих тонких координированных движений, таких как монтаж оборудования, фотографирование и др. При данном уровне физической активности тепловой режим космонавтов в скафандре был близок к комфортному, температура вентилирующего газа колебалась в пределах 11—15 °C, а расход вентиляции превышал 300 л/мин. Температура, измерявшаяся в области груди и голени, близкая к температуре кожи в этих зонах, колебалась от 30 до 37,6 °C. На протяжении всего периода работ космонавты сообщали о хорошем самочувствии и нормальных теплоощущениях. Основными факторами, которые обусловили изменение физиологических показателей, были психоэмоциональное напряжение, а также физическая нагрузка. Таким образом, в рассматриваемом полете были испытаны некоторые средства обеспечения длительной работы космонавтов вне корабля, такие как поручни и фиксаторы, отработана циклограмма групповой деятельности космонавтов в открытом космосе.

Дальнейшее улучшение физиолого-гигиенических условий было связано с использованием для выхода в космос из орбитальной станции «Салют-6» нового скафандра полужесткого типа с регенерационной автономной системой обеспечения жизнедеятельности (АСОЖ). Впервые в отечественной практике был также применен эффективный способ терморегулирования, обеспечивающий при помощи костюма водяного охлаждения (КВО) тепловой баланс организма практически при любом уровне физической активности [Абрамов И. П., 1984].

В условиях гидроневесомости и полетов на самолете по кеплеровской траектории был отработан практически полный объем операций, связанных с выходом на поверхность станции. По отзывам испытателей и космонавтов, все операции, предусмотренные программой, были выполнимы. При этом было отмечено, что основная физическая нагрузка приходится на мышцы рук.

Энергоемкость основных операций и имитировавшихся аварийных ситуаций, а также изменение ряда физиологических показателей при испытаниях скафандров и тренировках космонавтов в термоблокаторе приведены в табл. 22. При плановой деятельности такие физиологические параметры, как ЧСС и ЧД, определялись уровнем физической активности и находились по сути дела в прямой от нее зависимости. В операциях, вызывавших эмоциональное напряжение или перегрев организма, ЧСС и ЧД были несколько выше, чем это соответствовало энерготратам.

Энергономическая оценка скафандра показала удобство его надевания, достаточную подвижность, хорошую тактильную чувствительность пальцев рук при выполнении относительно мел-

Таблица 22

Средние значения и диапазон изменений физиологических показателей у 30 обследуемых при пребывании в состоянии покоя (п) и выполнении легкой (л), средней (с), тяжелой (т) физической работы, при имитации различных операций в термобарокамере (операции 1—5 и 10—13) и гидросреде (операции 6—9)

Операция	ЭТ (Вт)	ЧСС в 1 мин	ЧД в 1 мин	$T_{ор}$ (°C)	$T_з$ (°C)
Контроль систем (п)	100±30	78(55—84)	16(6—24)	36,6—36,7	34,1—36,6
Управление системами скафандра (л)	180±40	86(72—100)	18(10—25)	36,6—37,0	34,1—36,6
Изменение режима давления и включение дополнительной подачи O_2 в скафандре (л)	210±40	91(80—129)	20(18—24)	36,6—37,0	34,8—36,7
Стыковка (расстыковка) электрокабеля (л-с)	280±70	98(90—120)	23(15—30)	36,6—37,0	34,8—36,7
Стыковка пневмогидрокоммуникаций скафандра (с)	350±70	106(100—142)	24(20—30)	36,6—37,1	35,0—36,8
«Страховка» (л-с)	до 350	63—100	18—27	36,8—37,1	35,0—36,8
Выход и переход по поверхности станции (с-т)	460±40	102(84—136)	25(21—34)	36,8—37,0	35,7—37,0
Возвращение и перход по поверхности станции (с-т)	490±70	108(88—147)	27(20—36)	36,8—37,0	35,7—37,0
Транспортировка дополнительной массы 150 кг (т)	600±50	133(108—165)	31(26—34)	37,2—37,5	36,0—37,3
Максимальная нагрузка (т)	800±40	145(120—167)	33(27—42)	37,3—37,5	до 37,5
Имитация отказа водяного охлаждения и перегрев организма (с)	250±40	130(121—138)	25(20—30)	37,5—38,0	37,5—38,2
Ошибки при работе с органами управления скафандра (л)	180±40	110(92—130)	18(12—24)	36,6—37,0	34,1—36,6
Отказ систем (эмоциональный стресс)	210±70	178(164—192)	30(25—36)	36,6—37,0	34,1—36,6

Таблица 23

Индивидуальные изменения ЧСС и ЧД (в 1 мин) в зависимости от энерготрат (ЭТ) (Вт) при тренировках в термобарокамере (ТБК) и во время выхода в космос

ОЭ	Космонавт	Условия	Показатель	Диапазоны ЭТ						
				70—140	141—210	211—280	281—350	351—420	421—490	491—560
ОЭ-1	1-й	ТБК	ЧСС	72—96	72—108	78—100	96—112	96—120	110—138	127—152
		»	ЧД	8—15	12—16	12—18	12—20	16—24	14—25	20—25
		Космос	ЧСС	74—84	80—86	88—100	100—114	114		
		»	ЧД	12—16	15—20	16—24	26—30	30		
	2-й	ТБК	ЧСС	56—72	65—74	78—90	80—98	89—100	94—102	104
		»	ЧД	6—15	8—16	10—18	12—21	12—24	12—22	24
		Космос	ЧСС	72—78	78—84	90—94				
		»	ЧД	12—16	16—24	22—30				
ОЭ-2	1-й	ТБК	ЧСС	64—82	82—88	84—92	78—100	82—110	102—115	120—134
		»	ЧД	8—12	8—22	14—26	22—28	22—30	24—33	28—32
		Космос	ЧСС	63—80	72—90	102—109	102—110	104—156		
		»	ЧД	14—20	14—24	24—26	24—30	26—34		
	2-й	ТБК	ЧСС	58—84	74—88	82—100	86—102	88—108	94—118	114—220
		»	ЧД	12—20	12—22	12—22	18—24	20—24	18—28	25—28
		Космос	ЧСС	60—76	80	84—108	95—110	110	130—140	
		»	ЧД	16	16	18—24	20—22	22	24—26	
ОЭ-3	1-й	ТБК	ЧСС	50—74	74—96	80—102	108	92—120	118—120	127
		»	ЧД	6—18	8—26	22—34	34	26—34	32—35	38
		Космос	ЧСС	70—72	76—90	90—110				
		»	ЧД	14—18	15—20	18—23				
	2-й	ТБК	ЧСС	48—70	66—84	70—88	80—91	90—96	96—100	98—102
		»	ЧД	14—20	18—24	15—25	22—25	21—27	24—30	30
		Космос	ЧСС	66—70	68—82	78—80	100	108	130	150
		»	ЧД	10—18	14—20	14—22	20—22	21—25	25	63

ких операций (в индивидуальных гермоперчатках разрешающая способность тактильного анализатора к восприятию раздельных ощущений была не ниже 2 мм), высокую надежность операций с органами управления скафандра, приемлемость аудиовизуального контроля систем, адекватность оптических характеристик светофильтра (обеспечивающих, к примеру, возможность оценки деталей поверхности электроразъемов площадью до 1 $мм^2$). Диапазон регулировки размеров скафандра учитывал не только исходную антропометрию, но и «вырастание» космонавтов в условиях невесомости. При этом была подтверждена возможность применения одного и того же скафандра космонавтами с различными антропометрическими характеристиками за счет соответствующей регулировки длины мягких частей оболочки.

При работе в открытом космосе медицинские специалисты осуществляли контроль как за медицинскими, так и за техническими параметрами, связанными с жизнеобеспечением космонавта. На случай выхода параметров за допустимые пределы был предусмотрен ряд рекомендаций, направленных на сохранение необходимого уровня работоспособности (включение резервных и дублирующих систем, корректировка терморегулирования, изменение уровня физической активности и т. д.). Кроме того, был разработан комплекс мероприятий по оказанию несложной медицинской помощи на случай ухудшения здоровья или появления жалоб на плохое самочувствие.

Всего экипажами основных экспедиций на станции «Салют-6» было осуществлено три выхода в открытый космос. Первый из них продолжительностью 88 мин был выполнен 22 декабря 1977 г. на 10-е сутки полета; второй продолжительностью 125 мин — 29 июля 1978 г. на 45-е сутки полета; третий продолжительностью 83 мин — 15 августа 1979 г. на 172-е сутки полета. В каждом выходе участвовали 2 космонавта. В табл. 23, 24 представлены данные для каждого космонавта. На этапе шлюзования перед выходом среднечасовые энерготраты у большинства космонавтов составляли порядка 170—230 Вт (147—198 ккал/ч) и достигали максимальной величины 270 Вт (233 ккал/ч). Наиболее трудоемкими были операции по обеспечению перехода от бортовых систем к АСОЖ скафандра, когда энерготраты увеличились до 280—420 Вт (241—362 ккал/ч). Другие показатели были также адекватны выполняемой работе и изменялись в период шлюзования в следующих пределах: ЧСС от 60 до 130 в 1 мин, ЧД от 10 до 30 в 1 мин.

В первых двух выходах величина теплосъема на этапе использования бортовых систем соответствовала уровню физической активности и составляла 210—270 Вт (181—233 ккал/ч). Это обеспечило термонейтральное тепловое состояние космонавтов к окончанию периода шлюзования. При медицинском контроле $T_{ор}$ составляла у обоих членов первого экипажа 36,7 °С, а у членов второго экипажа соответственно 36,1 °С и 36,6 °С. Необходимо отметить, что кратковременное снижение темпера-

Таблица 24

Энерготраты и теплосъем (Вт) в период подготовки и выхода в открытый космос

ОЭ	Космонавт	Показатель	Суммарно за всю ВКД (МДж)	В среднем (диапазон)			Отдельные рабочие операции						
				шлюзование перед выходом	выход	шлюзование после выхода	контроль систем: шлюзование	контроль систем: скафандр	контроль систем: при осмотре станции	открытие (закрытие) люка	монтаж (демонтаж) оборудования	перемещение по поверхности станции	телерепортаж и фотографирование
ОЭ-1	1-й	Энерготраты	3,8	230(140—280)	300(150—420)	210(140—310)	170—280	140—160	280—380	350—430	—	—	280
		Теплосъем	3,9	230(210—420)	310(280—590)	190(80—400)	210—390	70—210	350—380	410—590			310
	2-й	Энерготраты	2,7	170(100—210)	210(100—410)	190(120—240)	170—210	110—130	280—350	380—410	240—380	—	210
		Теплосъем	2,9	220(210—300)	170(150—560)	280(70—450)	210—450	110—130	210	450—560	210—350	—	210
ОЭ-2	1-й	Энерготраты	3,5	220(140—420)	270(170—410)	220(140—240)	140—350	140—170	210—280	350—410	240—380	—	280
		Теплосъем	3,0	210(200—280)	230(140—490)	210(70—350)	70—350	70—140	140—210	310—490	170—490		210
	2-й	Энерготраты	5,0	270(150—350)	350(280—490)	350(140—420)	280—420	150	230—350	400—450	280—490	350—420	310—350
		Теплосъем	3,8	270(170—280)	270(120—490)	260(100—350)	110—350	140	120—240	340—490	170—420	140—180	140—200
ОЭ-3	1-й	Энерготраты	2,4	190(140—280)	300(230—520)	140(100—350)	140—280	140—230	240—350	420—530	240—490	490	—
		Теплосъем	1,8	60(40—170)	280(140—600)	210(130—240)	110—180	40—150	180—210	540—600	180—210	210	
	2-й	Энерготраты	3,5	220(140—380)	350(280—590)	240(170—450)	140—380	140—280	280—470	410—590	460—520	470—520	—
		Теплосъем	3,1	750(60—170)	410(150—700)	300(90—450)	140—410	60—160	160—290	630—700	380—660	400—650	

Примечание. Указаны величины теплосъема водяного и вентиляционного контура охлаждения без учета тепловых потоков через оболочку скафандра.

туры воды на входе в костюм водяного охлаждения ($T_{КВО}$) до 15—17 °С в период шлюзования приводило к ощущениям переохлаждения ног у одного члена экипажа и чувству общего переохлаждения у другого члена экипажа, а последующее одно-двукратное изменение температуры и увеличение ее до 18—24 °С нормализовало теплоощущения.

В третьем выходе по технической причине в период шлюзования, т. е. терморегулирования за счет бортовой системы, $T_{КВО}$ повысилась от 20 до 31 °С, а средний уровень теплосъема не превышал 70 Вт. На фоне выполнения физической работы это привело к некоторому перегреву организма и повышению $T_з$ от 36,1 до 37,0 °С у одного члена экипажа и от 36,3 до 37,4 °С у другого. В целом за период шлюзования состояние космонавтов оценивалось как вполне удовлетворительное, все контролируемые физиологические параметры не превышали допустимых значений, самочувствие было хорошим. В период работы в открытом космосе АСОЖ работала в расчетном режиме и обеспечила нормализацию теплового баланса. Во время этих выходов в скафандрах поддерживалось давление 36—40 кПа. Газовая среда приближалась к чистокислородной, хотя содержание CO_2 не превышало 1,7 кПа.

Различия, полученные по ряду технических и физиологических параметров в этот период, определялись в основном характером и объемом выполняемых космонавтами операций. Первый выход, в котором один космонавт оказывал другому непосредственную помощь в фиксации и перемещении во время контроля стыковочного узла, характеризовался более высокими энерготратами и ЧСС именно у первого космонавта. Поскольку все операции один из космонавтов выполнял руками, он не смог отвлечься на регулирование охлаждения и $T_{КВО}$ в течение всего выхода оставалась практически неизменной. Во второй и третьей экспедиции вторые космонавты выполняли большой объем работ с высоким уровнем энерготрат, в то время как первые осуществляли руководство, «страховку» и наблюдение за работой. Контролируемые физиологические показатели за время работы в открытом космосе изменялись в следующих диапазонах: ЧСС от 72 до 156 в 1 мин, ЧД от 12 до 36 в 1 мин, $T_з$ от 37,0 до 37,7 °С. Сравнение частоты пульса и дыхания с величинами, полученными в наземных условиях при выполнении космонавтами, одетыми в скафандры, работ с различными энерготратами, показывает, что эти характеристики в основном были между собой близки (см. табл. 18).

На начальном этапе всех работ в открытом космосе космонавты выполняли весьма трудоемкие операции, такие как открытие люка, установка и смена оборудования на внешней поверхности станции, подготовка системы фиксации. При этом энерготраты увеличивались до 420—600 Вт, что, как правило, представляло собой абсолютный максимум за всю операцию. Сред-

нечасовые энерготраты изменялись в зависимости от программы ВКД: у первых космонавтов от 270 (233 ккал/ч) до 300 Вт (259 ккал/ч), у вторых от 210 до 350 Вт. При этом средний уровень теплосъема соответствовал среднечасовым энерготратам и изменялся от 180 до 410 Вт (155—353 ккал/ч) (см. табл. 19). На фоне кратковременных или локальных ощущений переохлаждения или перегрева система терморегулирования скафандра обеспечивала тепловой комфорт. Выбор необходимого уровня теплосъема осуществлялся космонавтами, как правило, путем одно-, дву-, трехкратного изменения $T_{КВО}$. При этом в течение нескольких минут после включения АСОЖ у ряда космонавтов уровень теплосъема превышал уровень энерготрат, а температура воды на входе КВО составляла 4—6 °С. Такое перерегулирование в большинстве случаев сопровождалось прежде всего ощущением переохлаждения ног или спины. В противоположность этому у бортинженера третьей экспедиции в период, когда теплосъем составлял 500—700 Вт (431—603 ккал/ч) и значительно превышал текущие энерготраты, отмечалось полное удовлетворение работой системы терморегулирования. $T_{КВО}$ была им выбрана равной 13 °С, что вызывало приятное ощущение прохлады на фоне повысившейся, как уже было сказано, в период шлюзования температуры тела. В течение всего основного периода ВКД регулирование $T_{КВО}$ осуществлялось космонавтами в зависимости от уровня физической активности. При умеренной работе $T_{КВО}$ устанавливалась на уровне 12—22 °С, что, по данным наземных тренировок, соответствовало среднему за период выхода уровню энерготрат. В ряде случаев перед выполнением энергоемких операций температура хладоагента понижалась космонавтами до 10—15 °С, что обеспечивало соответствующее увеличение теплосъема.

По окончании работы в открытом космосе и возвращении в станцию с температурой воздуха 19—20 °С некоторые космонавты после выхода из скафандра отмечали состояние переохлаждения. Переодевание в сухое белье и теплую одежду, а также повышение температуры окружающего воздуха до 23 °С и прием горячей пищи приводили к нормализации теплоощущений. Проведенные космонавтами ОЭ-2 измерения показали, что за 4 ч работы в скафандре уменьшение массы тела за счет потоотделения не превышало 0,7—0,8 кг [Абрамов И. П. и др., 1982].

На станции «Салют-7» работа в открытом космосе осуществлялась с применением модифицированного скафандра. Благодаря более полному использованию бортовых СОЖ период шлюзования, время работы при необходимости может быть увеличено до 7,5 ч. Улучшены также эргономические характеристики скафандра, касающиеся прежде всего удобства работы с органами управления и использования рабочего инструмента.

Первый выход в космос из станции «Салют-7» (продолжи-

Таблица 25

Показатели работы космонавтов вне станции «Салют-7»

ОЭ и ЭП	Космонавт	Выход в космос	Длительность выхода (мин)	ЭТ (Вт)		ЧСС в 1 мин	ЧД в 1 мин	$T_з$ (°С)
				средние	диапазон			
ОЭ-1	1-й	1-й	153	240	140—430	68—142	12—32	36,6—38,0
	2-й	1-й	153	300	210—520	90—169	6—26	34,0—36,5
ОЭ-2	1-й	1-й	170	270	140—350	81—132	10—48	34,3—36,8
		2-й	175	230	150—350	74—132	10—40	35,3—36,7
	2-й	1-й	170	340	240—540	75—117	16—36	34,0—36,4
		2-й	175	300	210—420	66—114	16—36	34,1—35,7
ОЭ-3	1-й	1-й	260	370	280—910	68—92	18—28	34,3—35,9
		2-й	300	270	180—640	72—116	16—36	35,2—36,4
		3-й	165	240	160—540	68—120	20—32	35,4—36,5
		4-й	165	220	200—560	68—112	20—36	35,1—36,6
		5-й	185	240	140—660	60—134	16—26	35,6—37,8
		6-й	300	330	210—690	68—148	12—40	34,3—37,5
	2-й	1-й	260	340	280—770	80—152	12—32	35,7—37,0
		2-й	300	310	180—840	84—128	16—28	34,2—36,6
		3-й	165	270	250—720	80—128	12—28	34,7—36,4
		4-й	165	240	220—560	80—128	16—32	34,1—36,3
		5-й	185	270	230—560	76—140	12—28	34,2—36,7
		6-й	300	250	210—560	80—160	16—32	34,2—37,5
ЭП	1-й	1-й	215	360	280—700	70—144	16—40	35,5—36,8
	2-й	1-й	215	280	210—420	85—162	11—42	35,8—36,0
ОЭ-4	1-й	1-й	300	200	140—350	72—150	12—36	35,5—37,1
	2-й	1-й	300	240	140—420	76—150	10—32	34,6—36,7

тельностью 153 мин) был осуществлен 30 июля 1982 г. на 78-е сутки полета. Второй и третий (продолжительностью 170 и 175 мин) выполнены 1 и 3 ноября 1983 г. на 128-е и 130-е сутки полета. Причем у одного члена экипажа уже был опыт выхода из станции «Салют-6». Космонавты ОЭ-3 в период с 23 апреля по 8 августа 1984 г. на 75-е, 78-е, 81-е, 87-е, 101-е и 183-и сутки полета совершили 6 выходов общей продолжительностью для всех их 22 ч 50 мин. 27 июля 1984 г. на 9-е сутки полета осуществили выход продолжительностью 215 мин космонавты экспедиции посещения (ЭП), бортинженер которой была первой женщиной, вышедшей в открытый космос. Космонавты ОЭ-4 2 августа 1985 г. на 57-е сутки полета осуществили выход продолжительностью 300 мин.

В период работы в космосе в скафандрах поддерживалось давление 38—40 кПа. Газовая среда была близка к чисто кислородной. Парциальное давление CO_2 изменялось от 0,3 до 2,1 кПа. В табл. 25 представлены данные об изменениях физиологических параметров у каждого космонавта.

Специфика представленной медицинской информации отражает как конкретную программу работ, так и индивидуальные особенности организма. Наиболее спокойно протекала работа космонавтов по заранее отработанной в наземных условиях научной программе и монтажу дополнительных солнечных батарей. Наиболее напряженными были операции, связанные с ремонтными работами. При работе вне станции энерготраты колебались в среднем от 220 до 370 Вт (190—319 ккал/ч). Суммарные энерготраты за весь период пребывания в скафандре в течение 4,5—6 ч находились в пределах 4190—8370 кДж, а потребление кислорода организмом в среднем за выход изменялось от 0,6 до 1,2 л/мин (STPD). В отличие от работ на станции «Салют-6» максимальные энерготраты при выходах из станции «Салют-7» соответствовали не работе по открытию люка и начальным операциям на внешней поверхности, а ремонтным и технологическим операциям, которые выполнялись космонавтами после перехода [с энерготратами 280—420 Вт (241—362 ккал/ч)] по поверхности станции непосредственно на рабочем месте. В первой экспедиции это была подготовкка оборудования к научным экспериментам, когда энерготраты составляли от 350 до 520 Вт (302—448 ккал/ч). При монтаже солнечной батареи наиболее энергоемки были операции на этапе раскрытия батареи при работе с лебедкой и соединения электроразъемов, когда энерготраты достигали 420—490 Вт (362—422 ккал/ч). При работе с универсальным рабочим инструментом наиболее энергоемкими — 420—700 Вт (362—603 ккал/ч) были подготовка и последующее возвращение инструмента. Максимальные энерготраты 700—910 Вт (664—784 ккал/ч) были зарегистрированы при ремонтных операциях, связанных с вскрытием обшивки (работа пробойником, резка, отвинчивание гаек). Минимальные значения энерготрат 140—280 Вт (121—241 ккал/ч) во всех выходах отмечались на отдыхе в периоды теневой части витка.

Такие физиологические показатели, как ЧСС и ЧЛ, при плановой деятельности определялись уровнем энерготрат и мало отличались от величин, полученных при наземных тренировках (см. табл. 25). В операциях, вызывавших эмоциональное напряжение или признаки перегрева, эти показатели были выше и достигали максимальных величин 148—169 и 36—48 в 1 мин соответственно. Работа женщины-космонавта по физиологическим критериям отличалась лишь относительно большей ЧСС. При энерготратах порядка 420 Вт (362 ккал/ч) ЧСС у нее достигала 162 в 1 мин. В многократных выходах, выполнявшихся экипажами ОЭ-2 и ОЭ-3 при сопоставимых уровнях энерготрат, различий в рассматриваемых показателях не наблюдалось, за исключением случая высокой ЧД, равной 48 в 1 мин у первого космонавта ОЭ-2 в первом выходе. Последнее было обусловлено эмоциональным напряжением космонавта. Важно отметить, что одним из основных практических итогов многократных выходов в космос является подтверждение очевидного положения о том, что при повторении работы появляется опыт, снижается эмоциональное и физическое напряжение, сокращается время выполнения операций. Об этом наглядно свидетельствует тот факт, что работа по установке солнечных батарей, которую космонавты ОЭ-2 выполняли в течение 345 мин за два выхода, космонавты ОЭ-3 проделали с теми же энерготратами в течение 185 мин и за один выход (пятый на счету экипажа), т. е. почти вдвое быстрее. Космонавты ОЭ-4 выполнили эту работу за 3,5 ч и в остальное время выхода занимались научными экспериментами. Еще один пример — на выполнение программы первых двух выходов космонавты ОЭ-3 использовали столько же времени, сколько было установлено при отработке соответствующих операций в гидроневесомости, а в последующих трех выходах работа выполнялась на 75—80 мин быстрее, чем было запланировано. При этом уровень средних и максимальных энерготрат имел тенденцию к снижению с каждым последующим выходом. Если в первых двух выходах энерготраты были достаточно велики и составляли в среднем 330—370 Вт (284—320 ккал/ч), то в последующих выходах средние их значения снизились до 220—330 Вт (190—284 ккал/ч). Максимальные энерготраты, достигавшиеся в первых двух выходах этого экипажа, составляли 910 Вт (784 ккал/ч). В остальных выходах максимальные значения были ниже и колебались в пределах 560—660 Вт (483—569 ккал/ч). Характерно, что такие пики энерготрат были непродолжительными (10—15 мин) и отмечались не чаще 1—2 раз за выход при наиболее неудобных или тяжелых операциях с использованием инструмента и при отборе некоторых научных образцов.

Другим практическим результатом многократных выходов в космос явилось подтверждение достаточности отдыха в течение 2—3 сут между выходами для полного восстановления физической работоспособности космонавтов. Это тем более значимо, что непосредственно после окончания некоторых выходов у космонавтов отмечалась умеренная общая усталость и прежде всего утомление мышц рук.

В целом, несмотря на насыщенность программы выходов различными операциями с высоким уровнем энерготрат, качество терморегулирования было удовлетворительным, а $T_з$ не превышала 38,0 °С. Показательно, что длительное использование практически только одного вентиляционного контура охлаждения при умеренной физической активности в заключительный выход также сопровождалось колебаниями $T_з$ в допустимых пределах от 37,2 до 37,5 °С. Как правило, минимальные значения $T_з$ (ниже 34,5 °С) наблюдались только в первые 10 мин после одевания датчиков, т. е. на этапе подготовки к шлюзованию перед выходом, а максимальные значения отмечались в первый час после открытия люка на начальном этапе работы вне станции. При функционировании водяного охлаждения была возможна продолжительная работа (30—126 мин) при увеличении $T_з$ до

37,8—38,0 °С. Последующее увеличение теплосъема путем снижения $T_{КВО}$ обеспечивало быструю нормализацию теплосодержания организма и собственно уменьшение $T_з$ ниже 37,5 °С.

Необходимо отметить повышение качества терморегулирования, осуществляемого космонавтами при повторных выходах. Благодаря опыту работы уже после первого выхода космонавты ОЭ-2 и ОЭ-3 оказались в состоянии сами прогнозировать интенсивность предстоящих рабочих операций и более точно, с опережением, выбирать $T_{КВО}$, что сокращало частоту ручного регулирования системой с 5—9 до 3—4 раз в один выход. При этом первые 30 мин работы вне станции космонавты одно-, двукратным изменением $T_{КВО}$ до 12—18 °С выбирали значение уровня теплосъема, близкое к уровню средних энерготрат. Далее терморегулирование производилось лишь в случаях выраженной необходимости. Так, при интенсивной физической работе и развитии ощущений перегрева космонавты снижали $T_{КВО}$ до 2—8 °С или повышали ее до 16—30 °С при низкой физической активности в периоды отдыха и на теневом участке орбиты. В тех ситуациях, когда теплосъем кратковременно не соответствовал энерготратам, космонавты отмечали как явления переохлаждения в местах прилегания КВО по ногам и к туловищу, так и явления перегрева преимущественно в области головы и рук. Таким образом, при ручном способе терморегулирования обеспечивалось удовлетворительное тепловое состояние при наличии кратковременных локальных теплоощущений переохлаждения или перегрева. Однако по возвращении на станцию и выходе из скафандра некоторые космонавты отмечали ощущения общего охлаждения организма. Только переодевание в сухое белье, утепленную одежду и прием горячей пищи вызывали нормализацию теплоощущений.

Подытоживая сказанное выше, можно сделать вывод, что в диапазоне длительности полета человека до 183 сут не выявлено каких-либо изменений, препятствующих проведению выходов в космос. Для интенсивной работы в скафандре вне станции до 5 ч включительно не имеется ограничений по физиологическим показателям. В этих условиях физическое, эмоциональное и отчасти тепловое состояние определяет основные ответные реакции организма космонавтов. Режим отдыха в течение 2—3 сут между выходами является достаточным для восстановления работоспособности космонавтов при многократных выходах. Полученные данные позволяют также сделать вывод о повышении эффективности организации трудовой деятельности космонавтов, работающих вне станции. Надежная работа систем скафандра и целенаправленная физическая подготовка космонавтов к работе в скафандре обеспечили полное выполнение программы выходов при сохранении нормального состояния их здоровья.

В заключение следует отметить, что космические скафандры

стали не только надежным обеспечением безопасности экипажей, но и средством, дающим возможность выполнять научную, производственную и ремонтную работу за пределами герметичных отсеков космических летательных аппаратов [Елисеев А. С., 1983; Джонс У. Д., 1975]. С полной уверенностью можно утверждать, что ограничения жизнедеятельности и работоспособности человека в космосе, связанные с применением даже самых современных скафандров, будут со временем устраняться по мере совершенствования технологии скафандростроения и завоевания новых рубежей в области космической физиологии.

Раздел IV

ПАТОГЕНЕЗ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФИЛАКТИКИ ДЕЙСТВИЯ НЕВЕСОМОСТИ

КОСМИЧЕСКАЯ БОЛЕЗНЬ

С первых шагов освоения человеком космического пространства было установлено, что невесомость оказывает на его организм определенное влияние, вызывая адаптивные реакции различных органов и систем. В ряду приспособительных сдвигов особое место занимают сенсорные и вегетативные расстройства, возникающие в первые часы и дни пребывания человека в космическом пространстве и получившие название «космической болезни» или «космического адаптационного синдрома».

Со дня орбитального полета Г. Титова прошло четверть века, когда он впервые обратил внимание наблюдавших за ним врачей на появление у него головокружения и дискомфорта, усиливающегося при движении головой, и иллюзорного ощущения перевернутого «вверх ногами» положения тела.

За прошедшее время в космосе побывало свыше 200 человек, и почти у половины из них в начальной стадии полета возникали той или иной степени выраженности признаки космической болезни. Несмотря на усилия исследователей многих стран в изучении механизмов космической болезни, до сих пор не удалось выработать единую общепринятую концепцию об этиопатогенезе этого своеобразного болезненного состояния, способного отрицательно повлиять на самочувствие и работоспособность космонавтов в начальном, весьма ответственном периоде полета. Вместе с тем за истекшее время представителями космической медицины, осуществляющими медицинское обеспечение космических полетов, тщательно изучалась феноменология космической болезни, что позволило составить достаточно объективное и полное представление об особенностях течения и симптоматологии возникающих в невесомости сенсорных и вегетативных нарушений [Брянов И. И. и др., 1976, 1986; Vanderploeg J. M. et al., 1985].

Анализ результатов анкетирования свидетельствует о том, что подавляющее большинство космонавтов (80—93%) испытывали в полете головокружение и различного рода иллюзии восприятия пространства. Последние выражаются чаще всего в появлении ощущения наклона тела вперед или назад или перевернутого положения, «зависания вниз головой». Реже возникала иллюзия вращения собственного тела или смещения окружающих предметов. Подобные реакции появляются либо сразу, либо (значительно реже) спустя 2 ч после наступления невесомости и продолжаются, как правило, от нескольких минут до

4 ч и более. При этом космонавтами замечено, что усиление или повторное возникновение иллюзий часто сопряжено с повышенной двигательной активностью или рассматриванием Земли через иллюминатор. У некоторых космонавтов появлялось также чувство смещения внутренних органов вверх, при резких движениях головой возникало ощущение «плавания» окружающих неподвижных предметов внутри корабля, затруднение в «фокусировании» взгляда, в «захвате предмета взором».

Вегетативные симптомы космической болезни испытывали от 30 до 50% космонавтов. К этим симптомам относятся потливость, саливация, покраснение или побледнение кожи лица, ощущение тяжести в желудке, тошнота, позывы к рвоте и рвота. Космонавты жалуются на слабость, сонливость, апатию и потерю аппетита. Эти симптомы возникают не сразу после начала воздействия невесомости, а через некоторое время (обычно от 1 ч до 1,5—2 сут). Они постепенно ослабевают и исчезают в течение первых 3—6 сут орбитального полета и вновь, как правило, не появляются. Индивидуальная чувствительность космонавтов к космической болезни оказалась чрезвычайно различной: от полной толерантности или наличия отдельных незначительных симптомов до весьма тяжелой формы с сильнейшим головокружением, тошнотой и многократной рвотой.

В феноменологии космической болезни наиболее удивительным явилось то, что активные движения головой оказались ее основным провоцирующим фактором. Как показали недавно проведенные специальные исследования, наиболее стрессогенны движения головой в сагиттальной и наименее — в горизонтальной плоскости [Oman C. M., 1986].

Ограничение двигательной активности, фиксация взора, фиксация тела в кресле, аутотренинг, отдых и сон и в особенности повторные полеты способствуют ослаблению симптомов космической болезни.

При возвращении на Землю, особенно после длительных орбитальных полетов, процесс реадаптации к земным условиям нередко сопровождается сенсорными и вегетативными расстройствами наподобие возникающих в невесомости. При этом частота появления и тяжесть симптомов обычно коррелируют с продолжительностью полета. Так, после кратковременных орбитальных полетов (4—14 сут) эти нарушения появлялись в 27,3% случаев, тогда как длительное пребывание в невесомости (30—211 сут) приводило к возрастанию частоты их возникновения после полета более чем в 3 раза (91,7% случаев). Вегетативные симптомы в послеполетном периоде проявляются потливостью, усиленной саливацией, неприятными ощущениями в области желудка, тошнотой, а иногда позывами к рвоте и рвотой. У некоторых космонавтов малейшее движение головой вызывало сильнейшее головокружение, усиление тошноты и многократную рвоту. В горизонтальном положении на спине появлялась иллюзия наклона тела назад. Заслуживает внимания тот факт, что при

проведении ОР-пробы Воячека или на возрастающие стоп-стимулы возникали вегетативные реакции I или II степени, которые обычно отсутствовали при предполетном обследовании космонавтов.

У лиц, совершивших кратковременные (до 2 нед) орбитальные полеты, описанные выше явления наблюдались значительно реже и процесс реадаптации был существенно короче. Повторные полеты также способствовали более быстрой реадаптации космонавтов к земным условиям.

Сходство космического адаптационного синдрома с наземными формами болезни движения и провоцирующее действие движений головой послужили основанием широко распространенного мнения об исключительной роли вестибулярного аппарата в возникновении данного феномена. Очевидно, по этой причине уже в самых первых сообщениях отдельные симптомы космической болезни априори обозначались как вестибулосенсорные и вестибуловегетативные реакции. Определенным подкреплением этой точки зрения явилось установление полной резистентности к болезни движения у лиц с нефункционирующими лабиринтами в условиях параболического полета, а также при воздействии кориолисово-процессионных ускорений [Graybiel A., 1964; Graybiel A., Kellogg R., 1966].

Действительно, проведенные в последние годы исследования выявили изменения вестибулярной функции как непосредственно в самом космическом полете, так и при возвращении на Землю.

В невесомости пороги восприятия линейного движения в 1,5—4,3 раза превышали предполетные показатели [Benson A. J., 1984]. Изучение отолитовой функции с помощью спинального Н-рефлекса обнаружило в первые сутки полета изменения, близкие с предполетными: при пробе с падением возрастала амплитуда рефлекса. Эти изменения отсутствовали при повторении эксперимента на 7-е сутки полета. Аналогичным образом субъективное восприятие движения при пробе падения в первые сутки полета соответствовало таковому перед полетом и существенно трансформировалось на 7-е сутки полета [Reschke M. F. et al., 1984]. Изменения отолитовой функции были выявлены и при использовании вертикальной оптокинетической стимуляции. Если в условиях земной гравитации для глазодвигательной реакции на подобный вид раздражения характерна асимметрия с преобладанием реакции в одну из сторон, то в первые сутки пребывания в невесомости происходила смена направленности асимметрии с последующим восстановлением исходной картины на 3-и сутки орбитального полета [Clément G. et al., 1985].

Изменения каналовой функции в невесомости выражались в снижении коэффициента усиления вестибулоглазодвигательного рефлекса при движениях головой в горизонтальной плоскости в первые сутки полета. Оно имело место и при движениях головой в сагиттальной плоскости, при которых в реакцию одновременно вовлекаются рецепторные образования вертикальных полукружных каналов и отолитового аппарата [Clément G. et al., 1985]. Правда, по данным других авторов, подобные изменения реакции установки взора при горизонтальных движениях головой могли и отсутствовать [Thornton W. E. et al., 1985]. Обнаруженная еще в первых космических полетах повышенная спонтанная глазодвигательная активность и нарушение координации движений глаз («плавательные» и нистагмоидные движения) [Акулиничев И. Т. и др., 1968], по всей вероятности, имели вестибулярный генез.

Признаки вестибулярной дисфункции выявляются и в периоде реадаптации к земной силе тяжести. Так, у одних космонавтов величина реакции противовращения глазного яблока существенно возрастала, у других этот показатель по сравнению с предполетными значениями снижался. Гораздо большая метаморфоза отолитовой функции была обнаружена у небольшого числа космонавтов в виде извращения направления движения глаз: вращение глазных яблок совершались в сторону наклона тела, а не в противоположную, как обычно (так называемый отрицательный отолитовый рефлекс). Эта реакция приобретала (особенно у космонавтов, совершивших длительные орбитальные полеты) явно асимметричную форму [Горгиладзе Г. И. и др., 1986]. Изменения отолитовой функции проявлялись также в виде усиления спинального Н-рефлекса при пробе с падением, который в 3—4 раза превосходил предполетные значения. Возникающие при этом сенсорные реакции существенно отличались от обычного ощущения падения. Сразу после полета движения головы во фронтальной плоскости субъективно воспринимались как прямолинейные. При этом подавлялась реакция противовращения глаз и усиливался горизонтальный нистагм. Последнее отмечалось и в ответ на линейные ускорения тела [Reschke M. F. et al., 1984; Parker D. E. et al., 1985]. При определении порогов восприятия линейного ускорения тела у одних космонавтов было выявлено их возрастание, у других, напротив, понижение по сравнению с предполетными данными [Benson A. J., 1984].

Пороговая чувствительность горизонтальных полукружных каналов к угловым ускорениям и их реактивность к возрастающим стоп-стимулам в одних случаях повышалась, в других, наоборот, снижалась. Вместе с тем нистагменные реакции на противоположно направленные, но одинаковые по интенсивности угловые ускорения становились отчетливо асимметричными [Брянов И. И. и др., 1986]. Неоднозначные результаты были получены и при изучении реакции установки взора. Коэффициент усиления вестибулоглазодвигательного рефлекса в ответ на горизонтальные движения головой, по данным одних авторов, возрастал [Козловская И. Б. и др., 1985], по наблюдениям других, наоборот, снижался по сравнению с предполетными величинами [Clément et al., 1985] или оставался без изменений

[Thornton W. E. et al., 1985]. У многих космонавтов имели место увеличение ошибки, а также отчетливая асимметрия в восприятии пространственных координат в боковых положениях тела. Значительные изменения претерпевали показатели исследования каналоотолитового взаимодействия. Наблюдаемое в предполетном периоде подавление послевращательной нистагменной реакции глаз при выпрямлении туловища в периоде реадаптации у одних космонавтов ослабевало, у других полностью отсутствовало и, наконец, у третьих эта реакция вместо подавления усиливалась. На оптокинетическую стимуляцию регистрировалась более слабая глазодвигательная реакция, нежели в предполетном периоде, с одновременным появлением явной асимметрии и дизритмии ее. Оптокинетическая устойчивость снижалась в 1,5—2 раза. У некоторых космонавтов были обнаружены спонтанный нистагм глаз и феномен «уплывания» глазных яблок при попытках фиксации взора, а при движениях головой неподвижные предметы казались нерезкими и «уплывающими» из поля зрения [Брянов И. И. и др., 1986].

Нормализация вестибулярной функции обычно наступала только после возвращения на Землю, в течение первых 2—9 сут, а в некоторых случаях в течение месяца реадаптации. Длительные орбитальные полеты, как правило, приводили к гораздо более выраженным и затяжным во времени изменениям вестибулярных реакций, нежели кратковременные. Наиболее отличительными особенностями вестибулярных реакций, пожалуй, являются их асимметричность, изменение характера каналоотолитового взаимодействия и появление непроизвольных спонтанных движений глаз.

Таким образом, невесомость оказалась средой, сильно воздействующей на вестибулярную функцию. Именно ей приписывается первостепенное значение в существующих в настоящее время теориях, разбирающих причины возникновения космической болезни.

ТЕОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ

Теория сенсорного конфликта или сенсорного рассогласования пользуется, пожалуй, наибольшим признанием и подразумевает, что космический адаптационный синдром возникает в результате рассогласования между сенсорными входами, ответственными за восприятие пространства [Reason J. T., 1970, 1978; Benson A. J., 1984]. По своему характеру конфликт может иметь различную природу: во-первых, он может быть внутрилабиринтным в виде несоответствия между поступающими в ЦНС сигналами от различных вестибулярных рецепторов и, во-вторых, межсенсорным, когда в центральную нервную систему поступают противоречивые сигналы с рецепторов лабиринта и других рецепторов пространственного чувства (зрительных, тактильных, кинестетических и др.).

Внутрилабиринтный конфликт возникает вследствие того, что хотя полукружные каналы по-прежнему адекватным образом и реагируют на угловые ускорения в невесомости, и дают правильную информацию о движениях головы, однако отолитовый аппарат из-за отсутствия силы тяжести теряет способность информировать о положении ее в пространстве. С другой стороны, на динамические стимулы отолитовые рецепторы не только не в состоянии сигнализировать об изменении положения головы в пространстве, но и могут генерировать необычные паттерны афферентной активности. Очевидно, по этой причине наиболее стрессогенными оказались движения головы в сагиттальной и фронтальной плоскостях, чем движения головы вокруг продольной оси тела.

Помимо рассогласования между сигналами с полукружных каналов и отолитового аппарата, или собственно каналоотолитового конфликта, возникновение несогласованной информации в ответ на движения головы, на наш взгляд, может иметь место и в пределах одной какой-нибудь части лабиринта, например в системе полукружных каналов. Обоснованием подобного представления являются результаты экспериментальных исследований на животных, согласно которым определенное количество каналовых рецепторов обладает гравиточувствительностью [Perachio A. A., Correia M. J., 1983].

Развивающаяся в невесомости конфликтная ситуация внутри вестибулярной системы при движениях головой усугубляется распадом сложившейся в земных условиях синергии в деятельности различных сенсорных систем. В этом случае правильное восприятие пространства с помощью зрительной рецепции и купуло-эндолимфатической системы лабиринта не подтверждается соответствующими сигналами с гравирецепторных образований лабиринта, отчасти, вероятно, и соматическими и некоторыми интероцептивными сигналами.

Таким образом, внутрилабиринтный конфликт, как и межсенсорный, заключается в выпадении или искажении ожидаемого сигнала с чувствительных к гравитации рецепторов, неспособного подкрепить информацию о движении, исходящую от зрительного входа и рецепторов каналовой системы лабиринта.

Теория сенсорного конфликта базируется на психофизиологической концепции нервной модели стимула [Соколов Е. Н., 1960; Reason J. T., 1970, 1978]. Согласно этой концепции, под влиянием повторения определенного стимула в ЦНС создается модель стимула, фиксирующая все его основные свойства. Помимо блока нервной модели стимула, существует блок сравнения (компараторный), в котором сенсорные сигналы на текущее воздействие сравниваются с «ожидаемой», хранящейся в блоке нервной модели стимула информацией. При их несоответствии возникает сигнал ошибки, или сигнал рассогласования. При достаточно интенсивном сигнале ошибки регулирующие механизмы оказываются недостаточными, вестибулярные импульсы

беспрепятственно распространяются на различные мозговые центры и приводят к появлению симптомов болезни движения.

Адаптация к невесомости предполагает перестройку и создание такой нервной модели стимула, которая была бы направлена на адекватную реализацию измененного сенсорного паттерна и обеспечивала бы достаточно эффективное функционирование организма в необычных условиях существования. Адаптация достигается по нескольким путям. Во-первых, происходит снижение роли или игнорирование сигналов с гравирецепторов лабиринта в рефлекторном управлении и восприятии движений тела. Об этом, в частности, свидетельствует уже упомянутый выше факт повышения порогов восприятия линейных ускорений тела в невесомости [Benson A. J., 1984]. Во-вторых, имеет место перекодирование (реинтерпретация) отолитовых сигналов в ЦНС, что проявляется в определенной модификации вестибуло-глазодвигательных и вестибулоспинальных рефлексов, канало-во-отолитового взаимодействия, а также характера восприятия движений головы [Брянов И. И. и др., 1986; Parker D. E. et al., 1985]. И, наконец, возрастает доминирование зрительной информации в реакциях установки тела в пространстве [Clément G. et al., 1985].

Очевидно, такой полиморфизм обеспечивает быструю и достаточно устойчивую адаптацию организма к невесомости, и приобретенная таким способом толерантность к провоцирующим космическую болезнь воздействиям может оказаться весьма высокой. Развитием адаптивных изменений следует, по-видимому, объяснить феномен повышения устойчивости к болезни движения при воздействии кориолисовых и прецессивных ускорений, обнаруженный у американских космонавтов на 5—8-е сутки орбитального полета лаборатории «Скайлэб» [Graybiel A. et al., 1975].

Реадаптация к земной силе тяжести после завершения космических полетов подразумевает восстановление привычного для человека взаимодействия функциональных систем, ведующих восприятием пространства. Вместе с тем несоответствие сенсорных и двигательных паттернов со сложившейся под воздействием невесомости нервной моделью стимула вначале может привести к повторному развитию симптомов болезни движения. Чем продолжительнее космические полеты, тем прочнее закрепление адаптивных изменений в ЦНС, обусловленных невесомостью, и, по-видимому, по этой причине значительно возрастают частота появления, а также выраженность и продолжительность болезни движения и других признаков вестибулярной дисфункции после завершения длительных орбитальных полетов.

Теория сенсорного конфликта, несмотря на ее привлекательность, основанную на общих концептуальных взглядах, во многих отношениях умозрительна. Неясно, что собой представляют «конфликтные сигналы», где происходит их формирование и каким образом они приводят к «утечке» нервной активности.

Теория нарушения парной функции лабиринтов. Анализ накопленных к настоящему времени данных, полученных при клинико-физиологическом обследовании космонавтов, позволяет считать одной из причин возникновения и развития космической болезни нарушение парной функции лабиринтов.

Наличие более или менее заметной исходной вестибулярной, в частности отолитовой, асимметрии, по мнению некоторых авторов, можно рассматривать как один из предрасполагающих факторов возникновения космической болезни. Вместе с тем непосредственно после возвращения на Землю, в острый период реадаптации, выявляется достоверная асимметрия различных показателей вестибулярной функции [Брянов И. И. и др., 1986; Горгиладзе Г. И. и др., 1986]. У всех советских космонавтов, участвовавших в длительных орбитальных полетах, отмечали отолитовую асимметрию. В 3—4 раза возрастала каналовая асимметрия. Наблюдалась асимметрия глазодвигательных реакций и на оптокинетические раздражения. Кроме того, имело место явное усиление асимметрии восприятия пространственных координат в боковых позициях тела. Вестибулярная асимметрия, как правило, сочеталась с симптомами болезни движения. При этом последняя в наиболее выраженной форме наблюдалась именно в тех случаях, когда вестибулярная асимметрия достигала наибольшей величины, проявляясь в виде спонтанного или позиционного нистагма глаз. Данные, полученные при обследовании астронавтов, совершивших 10-суточный орбитальный полет в лаборатории «Спейслэб», также показали, что при возвращении на Землю у 3 из них имела место значительная асимметрия реакции противовращения глазного яблока и у всех четырех — асимметрия субъективной вертикали при боковых наклонах тела [Baumgarten R. J. et al., 1984].

Согласно данной гипотезе, развитие космической болезни можно представить следующим образом. Динамическое равновесие, существующее между вестибулярными ядрами обеих сторон благодаря так называемому лабиринтному тонусу, по-видимому, никогда не бывает полным. Это происходит потому, что вестибулярные ядра одной из сторон постоянно подвергаются большему возбуждающему или тормозящему влиянию с рецепторов лабиринта и других сенсорных входов, а также различных образований ЦНС. Асимметрия массы [Егоров Б. Б., Самарин Г. И., 1976] и объема [Лычаков Д. В., Лаврова Е. А., 1985] отолитовых мембран, безусловно, имеющая место анатомическая и пространственная асимметрия полукружных каналов и отолитового аппарата, проприоцептивная и межполушарная асимметрия — вот несколько причин, которые, вероятно, приводят к появлению вестибулярного межъядерного дисбаланса. Последний, таким образом, складывается из асимметрии, исходящей от рецепторов лабиринта, и асимметрии, обусловленной поступлением в вестибулярные ядра несимметричных экстралабиринтных сигналов. Описанное выше состояние можно обо-

значить как скрытую форму вестибулярной асимметрии. Возникающий при этом дисбаланс между вестибулярными ядрами обеих сторон нивелируется образующимся в ЦНС своего рода компенсирующим (уравнивающим) центром. Нивелирование вестибулярного межъядерного дисбаланса происходит вследствие усиления тормозящих влияний на сторону с преобладающей активностью и облегчающих влияний на сторону с меньшей активностью. Тормозящему влиянию подвергаются как вестибулярные ядра, так и рецепторы лабиринта на преобладающей стороне из-за возрастания импульсной активности эфферентного тормозного пути.

Итак, существующая в обычных наземных условиях определенная функциональная вестибулярная асимметрия нивелирована в результате центральной компенсации. Воздействие экстремальных факторов космического полета приводит к нарушению указанной компенсации и обусловливает появление «новой» вестибулярной асимметрии. Потеря веса отолитовых мембран в невесомости сопровождается подавлением спонтанной отолитовой афферентации [Gualtierotti T. et al., 1972]. Это влечет за собой снижение фоновой импульсной активности соответствующих нервных элементов вестибулярных ядер. Указанные выше изменения, вероятно, развиваются сразу же с наступлением невесомости. Между тем компенсирующий центр, который образовался в результате адаптивных изменений в ЦНС на исходную вестибулярную асимметрию, продолжает функционировать в невесомости в прежнем «режиме». Поскольку вестибулярные ядра на стороне первоначального преобладания подвергались большему тормозящему влиянию, а ядра противоположной стороны — активирующему, возникает новый межъядерный дисбаланс, но уже с преобладанием на противоположной стороне. При этом подавление отолитовой афферентации на стороне первоначального преобладания будет сильнее, поскольку на этой стороне имело место более интенсивное воздействие нисходящих тормозных влияний на рецепторы лабиринта. Этим, вероятно, и объясняется возникновение асимметрии отолитовой афферентации на фоне ее снижения, обнаруженное в опытах на лягушках в условиях орбитального полета [Gualtierotti T. et al., 1972].

Асимметрия отолитовой афферентации вызовет и каналовую асимметрию. В связи с этим уместно сослаться на работы В. А. Кислякова и Ю. К. Столбкова (1982) и Ю. К. Столбкова (1985). У голубей с односторонней перерезкой саккулярного или утрикулярного нервов в ответ на противоположно направленные вращения с одинаковыми угловыми ускорениями регистрировались отчетливо асимметричные реакции шейных мышц, участвующих в возникновении нистагма головы, а изменение положения головы в пространстве приводило к появлению позиционного нистагма.

Представляется, что при выраженном характере асимметрии афферентации с обоих лабиринтов возникает настолько сильный

межъядерный дисбаланс, что существующие в норме регулирующие механизмы оказываются недостаточными и вместо избирательного влияния поступающей с вестибулярного аппарата импульсации происходит широкая генерализация возбуждения на различные образования ЦНС. В результате возникают нарушения в сенсорной, двигательной и вегетативной сферах: ощущения уже не соответствуют действительности и проявляются головокружением и различного рода иллюзиями. Глаза не следуют за движущейся целью, появляется нистагм и т. д. Такое состояние, очевидно, имеет место при выключении функции одного лабиринта (например, вследствие травмы или хирургического вмешательства), а также при приступах болезни Меньера, при которых в вестибулярные ядра поступает чрезвычайно асимметричный поток импульсации. В условиях невесомости, по-видимому, не развивается столь сильной вестибулярной асимметрии, как в описанных выше клинических случаях. Однако ее вполне достаточно для того, чтобы афферентная импульсация на обычные стимулы становилась генерализованной и вызывала бурную реакцию. Этим, вероятно, следует объяснить то, что в подавляющем большинстве случаев симптомы болезни движения возникают при движениях головой. Возможно, что обнаруженные у некоторых космонавтов нистагмоидные движения глаз в орбитальном полете и их направленный перевес в одну из сторон в спокойном состоянии или при вращательных движениях головой являлись признаком именно вестибулярной асимметрии [Акулиничев И. Т. и др., 1968].

Развитие адаптации происходит вследствие определенных перестроек компенсирующего центра, которые обеспечивают снижение возникающей в невесомости вестибулярной асимметрии. Они, в частности, проявляются восстановлением отолитовой афферентации [Gualtierotti T. et al., 1972], что может быть результатом ослабления активности нервных элементов, оказывающих тоническое нисходящее тормозное влияние на рецепторы лабиринта.

Концепция о нарушении парной функции лабиринтов под воздействием факторов космического полета объясняет возможность развития сходного с космической болезнью состояния и в периоде реадаптации к земной силе тяжести, и в результате продолжающегося функционирования компенсирующего центра, сформировавшегося в невесомости.

Вестибулярная асимметрия в космическом полете может возникнуть не только в результате прямого воздействия невесомости на вестибулярный вход. Установленная в модельных исследованиях, имитирующих некоторые факторы космического полета, спинальная асимметрия, а также значительное усиление межполушарной асимметрии [Крупина Т. Н. и др., 1982] является еще одной из причин появления дисбаланса между парными вестибулярными образованиями из-за усиленного притока к ним асимметричной экстралабиринтной импульсации. При этом

уместно упомянуть, что, согласно литературным данным, асимметричные мышечные напряжения способствуют усилению предрасположенности к экспериментально вызванной болезни движения [Айзиков Г. С. и др., 1977].

Гипотеза о роли вестибулярной асимметрии в генезе болезни движения подтверждается исследованиями, проведенными в лабораторных условиях. У лиц с более или менее заметной исходной отолитовой асимметрией устойчивость к болезни движения оказалась гораздо ниже, чем при отсутствии таковой. Сходные результаты были получены при создании межлабиринтной асимметрии, которая достигалась пропусканием через один лабиринт постоянного тока нисходящего направления [Горгиладзе Г. И. и др., 1986].

Приведенные выше данные свидетельствуют о наличии причинно-следственной связи между вестибулярной асимметрией и дисфункцией этой системы. Вместе с тем необходимо проведение специальных исследований в целях экспериментального подтверждения значимости данного феномена в генезе космической болезни. Эти исследования должны включать в себя: оценку степени отолитовой и каналовой асимметрии в норме и при различных функциональных пробах, стрессовых воздействиях или имитации факторов космического полета, особенно в реальных условиях космического полета; выявление вестибулярной асимметрии в зависимости от возраста, пола, профессиональной деятельности и конституциональных особенностей отдельных лиц; разработку специальных схем тренировок для ее снижения.

Гемо-ликвородинамическая теория соотносит возникновение космической болезни с перераспределением жидких сред организма в краниальном направлении в связи с исчезновением гидростатической составляющей внутрисосудистого давления [Москаленко Ю. Е. и др., 1971; Брянов И. И. и др., 1975]. Этот феномен определяет состояние сердечно-сосудистой и ликворной систем у человека в период адаптации к отсутствию силы тяжести и проявляется заложенностью носа и ушей, одутловатостью лица, инъецированием сосудов склеры и конъюнктивы, чувством тяжести и приливами крови к голове, ощущением давления на глаза, головной болью. Указанные симптомы возникают в самые первые часы пребывания в невесомости, постепенно ослабевая в дальнейшем к 3—7-м суткам орбитального полета. В ряде случаев, правда, они сохраняются и в более поздние сроки полета.

Реографические исследования состояния гемодинамики, проведенные непосредственно в орбитальном полете, выявили целый ряд сдвигов, свидетельствующих о нарушении циркуляторного гомеостаза как следствии перемещения крови и тканевой жидкости в краниальном направлении, в частности увеличение ударного объема сердца и минутного объема кровообращения, возрастание пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга при одновременном уменьшении пульсового кровенаполнения сосудов голени, снижение тонуса мозговых артериол и вен, приводящих к затруднению венозного оттока из полости черепа и соответственно к развитию венозного застоя [Турчанинова В. Ф. и др., 1983].

По сообщениям некоторых космонавтов, симптомы космической болезни развивались у них одновременно с появлением ощущения прилива крови к голове, большинство же космонавтов не отмечали прямой связи между этими двумя явлениями. При реализации программы «Союз» — «Салют-6» были проведены специальные исследования с целью выяснения эффективности бортовых биофизических средств, препятствующих депонированию крови в верхней части тела, в предупреждении развития симптомов космической болезни [Брянов И. И. и др., 1986]. Были апробированы окклюзионные надувные манжеты («Пневматик»), накладываемые на бедра, и пневмовакуумное устройство («Чибис»), создающее отрицательное давление на нижнюю часть тела.

Исследование с использованием окклюзионных манжет проводили на 2-е сутки орбитального полета с участием 5 космонавтов. У них отмечали признаки вестибулярного дискомфорта, тошноту, головокружение, иллюзии перевернутого положения тела, ощущение пульсации в голове. На фоне 20—30-минутного воздействия эти симптомы у одних частично ослабевали, у других полностью исчезали, самочувствие улучшалось. Положительный результат сохранялся в течение от одного до нескольких часов после прекращения окклюзии конечностей.

Исследования с созданием отрицательного давления на нижнюю половину тела были проведены у 3 космонавтов на 3-и сутки полета. К этому времени у них уже отсутствовали сколько-нибудь заметные признаки космической болезни, но у всех отмечались чувство тяжести в голове, заложенность носа и затрудненное носовое дыхание. Создание разряжения в —25 мм рт. ст. приводило к исчезновению указанных симптомов и улучшению самочувствия. Однако последующее выравнивание давления вызывало вновь появление ощущения прилива крови к голове, которое субъективно уже было сильнее исходного. Самочувствие ухудшалось, а у одного космонавта при этом отмечалась головная боль.

Таким образом, перемещение жидких сред организма в краниальном направлении в результате исчезновения гидростатического давления может оказаться причиной возникновения целого ряда неприятных ощущений и общего дискомфорта.

Как объясняют сторонники гемо-ликвородинамической теории возникновение космической болезни? По мнению Ю. Е. Москаленко и соавт. (1971), увеличение венозного и ликворного давления, вызванное перемещением жидких сред организма в краниальном направлении в условиях невесомости, приводит к изменению давления внутрилабиринтных жидкостей либо оказывает непосредственное влияние на кровообращение в лабирин-

те из-за отсутствия в последнем собственного механизма сосудистой ауторегуляции [Carlborg B., Farmer J., 1983]. В обоих случаях, очевидно, возникнет изменение паттерна спонтанной и вызванной афферентации с рецепторов лабиринта, способное вызвать вестибулярную дисфункцию с симптомами болезни движения.

Крайняя ограниченность и неоднозначность наблюдений в реальном космическом полете вынуждали исследователей к поиску наземных моделей, воспроизводящих характерные для невесомости реакции сердечно-сосудистой системы. Подобное моделирование достигается пребыванием в антиортостатическом положении, поскольку при этом имеет место такое изменение вектора гравитации по отношению к положению тела, которое приводит к перемещению жидких сред организма в краниальном направлении.

Признаки прилива крови к голове отмечаются с первых минут пребывания в антиортостатическом положении. Картина клинических симптомов острого периода адаптации к такому положению тела характеризуется ощущением прилива крови к голове, тяжести в голове, пульсации сосудов головы и шеи, давления на голову и глазные яблоки, жжения в области лица, распирания и тяжести в области придаточных пазух носа, головными болями, иногда распирающего характера, микрофотопсией, проявлением различного рода иллюзий. Объективные изменения проявляются отеком век, одутловатостью и гиперемией кожных покровов лица, шеи, заложенностью носа и ушей, осиплостью, инъецированием сосудов склеры, перипапиллярным отеком, резкой дилатацией сосудов сетчатки, повышением давления в центральной артерии сетчатки, внутриглазного давления. Отмечается также увеличение пульсового кровенаполнения сосудов головного мозга и снижение тонуса мелких артерий и вен. С помощью эховентрикулометрии выявляется расширение желудочков мозга, свидетельствующее о повышении внутричерепного давления ликвора и приводящее к развитию синдрома ликворной гипертензии. Обнаружены по меньшей мере два типа реакций. У одних лиц наблюдаются лишь отдельные симптомы и относительно быстрая нормализация сосудистых сдвигов. У других, наоборот, имеет место вся картина симптоматики затяжного характера с тошнотой и рвотой, что указывает на недостаточность сосудистых регуляторных механизмов к данному виду воздействия [Жернавков А. Ф., 1979; Соколов В. И., 1985; Асямолов В. Ф. и др., 1986]. Особого внимания заслуживают исследования D. E. Parker (1977), D. E. Parker и соавт. (1983). Ими было обнаружено не только повышение давления спинномозговой жидкости в антиортостатическом положении, но и повышение давления жидкости во внутреннем ухе, что создает предпосылки возникновения вестибулярной дисфункции наподобие синдрома Меньера. На основании этих данных можно предположить, что наблюдаемое в орбитальном полете снижение слуховой чувствительности явилось следствием гипертензии лабиринтной жидкости в результате гемо-ликвородинамических сдвигов [Яковлева И. Я., Нефедова М. В., 1986]. Правда, слуховые вызванные потенциалы не претерпевали каких-либо заметных изменений в аналогичных условиях [Thornton W. E. et al., 1985].

Патологоанатомические и морфологические исследования, проведенные в экспериментах на животных, выявили чрезвычайно драматическую картину последствий гемо- и ликвородинамических сдвигов при антиортостатическом положении [Капланский А. С. и др., 1985]. При вскрытии черепа обезьян, находящихся в течение 7 или 19 сут в наклоненном на 6° вниз головой положении, наблюдались расширение и полнокровие сосудов твердой и мягкой мозговых оболочек, переполнение кровью средних и мелких артерий, вен и капилляров головного мозга, нарушение проницаемости стенок кровеносных сосудов и как следствие этого периваскулярные отеки и мелкие кровоизлияния и, что особенно следует подчеркнуть, дистрофические изменения в части нейронов и клеток глии. Повышение внутричерепного давления выявлялось с помощью рентгеноструктурного анализа по усилению рисунка пальцевидных вдавлений на костях свода черепа.

Подытоживая приведенные выше данные относительно перемещения жидких сред организма в краниальном направлении в антиортостатическом положении тела, имитирующем воздействие невесомости на сердечно-сосудистую и ликворную системы, можно прийти к выводу, что его возможными последствиями являются нарушения гемо- и ликвородинамики с развитием застойного полнокровия и гипоксии головного мозга и гипертензии лабиринтной жидкости.

Расстройства вестибулярной функции, как и слуховой, в условиях антиортостатического положения тела выражаются изменениями пороговой чувствительности вестибулярного аппарата и слуха, появлением спонтанного и позиционного нистагма глаз, снижением асимметрии и даже извращением отолитового рефлекса, увеличением ошибки и появлением выраженной асимметрии в восприятии пространственных координат. При движениях головой возникает иллюзия перемещения окружающих предметов, при закрывании глаз — иллюзия перевернутого положения тела, покачивания или проваливания. При калоризации лабиринтов имеют место дизритмия и асимметрия нистагма глаз с заметным усилением у некоторых лиц вегетативных и сенсорных реакций. Резкие движения головой или крайние отведения глаз сопровождаются головокружением и тошнотой. В ряде случаев возникает рвота [Яковлева И. Я. и др., 1972; Гаврилин В. К., Захарова Л. Н., 1985]. Вместе с тем в исследованиях, проведенных с целью выяснения влияния перемещения жидких сред организма в краниальном направлении на предрасположенность к экспериментально вызванной болезни движения, четкой зависимости установлено не было [Асямолов Б. Ф. и др., 1986].

Определенным подтверждением возможной связи между гемо- и ликвородинамическими нарушениями и состоянием вестибулярной функции может служить обширный клинический материал, представленный в отоневрологической литературе, который в обобщенном виде сводится к следующему: «...даже небольшие динамические нарушения кровообращения в сосудах вертебробазилярной системы проявляются четкими симптомами со стороны необычайно чувствительной вестибулярной системы. Эти симптомы — наиболее ранние, частые и нередко единственные признаки болезни» [Благовещенская Н. С., 1981]. Выраженная отоневрологическая симптоматика возникает при повышении внутричерепного давления, особенно при остром и быстром развитии этого состояния. При этом вестибулярные расстройства проявляются спонтанным нистагмом глаз, нарушением равновесия, головокружением, изменением возбудимости к калорическим и вращательным стимулам. Отмечаются головная боль, тошнота, рвота, дезориентация во времени и пространстве [Арсени К., Константинеску А. И., 1978].

Гемо- и ликвородинамические сдвиги, по мнению ряда авторов, являются причиной возникновения не только космической болезни, но и сходного с ней состояния при возвращении на Землю. Детренированность сердечно-сосудистой системы в периоде реадаптации приводит к снижению ортостатической устойчивости, в ряде случаев к предобморочному состоянию космонавтов в результате ухудшения кровоснабжения мозга [Калиниченко В. В. и др., 1970]. Как известно, подобные сдвиги могут быть достигнуты путем приложения отрицательного барометрического давления к нижней половине тела (ОДНТ). Депонирование крови в емкостных сосудах ног, уменьшение венозного возврата к сердцу и уменьшение церебрального объема крови лежат в основе механизмов развития ортостатической неустойчивости как при ОДНТ, так и после завершения длительных орбитальных полетов. При высоких величинах ОДНТ перфузия головного мозга настолько снижается, что развивается циркуляторный коллапс [Wolthuis R. A. et al., 1974]. По имеющимся данным, воздействие ОДНТ сопровождается значительными изменениями вестибулярной функции. В частности, наблюдается увеличение частоты, снижение амплитуды и возникновение аритмии калорического нистагма, появляются дискомфортные ощущения вестибулярного характера [Волошин В. Г., Лапаев Э. В., 1975; Wolthuis R. A. et al., 1974]. Причина указанных изменений вестибулярной функции усматривается во влиянии гипоксии на функциональное состояние вестибулярных центров. Кроме того, была обнаружена положительная корреляция между гипоксическим состоянием мозга и предрасположенностью к болезни движения [Barson A. V., Sauerland B. A. T., 1979].

Перемещение жидких сред в организме играет определенную роль в оценке положения тела в пространстве. Так, создание ОДНТ у обследуемых, находящихся в горизонтальном положении, приводит к появлению иллюзии поворота тела в направлении ортостаза. Интенсивность ее прямо связана с уровнем декомпрессии. При рекомпрессии иллюзия меняет свою направленность в противоположную сторону и проявляется ощущением наклона тела назад. У обследуемых, находящихся в положении вниз головой, при создании ОДНТ появляется ощущение «перевода» тела в горизонтальное положение. В условиях кратковременной невесомости, создаваемой в параболическом полете самолета, применение ОДНТ способствует сохранению представления о верхе и низе [Барер А. С., Тихомиров Е. П., 1976]. Изменение представления о положении тела в пространстве в результате перемещения жидких сред в организме при приложении отрицательного давления на нижнюю часть тела объясняется тем, что повышение трансмурального давления в нижней части позвоночного столба приводит к падению давления спинномозговой жидкости, возникновению градиента давления в лабиринте и как следствие этого к изменению афферентной активности его рецепторов [Wolthuis R. A. et al., 1974].

* *
*

Космическая болезнь остается одной из важнейших проблем в медицинском обеспечении пилотируемых космических полетов. Практическая необходимость прогнозирования и повышения устойчивости к ней совершенно очевидна, поскольку ее развитие отражается на самочувствии и работоспособности космонавтов. К сожалению, пока что невозможно выявить предрасположенность к космической болезни с помощью используемых на сегодня отборочных тестов, основанных на воздействии кориолисовых и процессионных ускорений. Не было получено также подтверждения эффективности предварительной наземной тренировки. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что космическая болезнь встречается примерно у половины членов экипажей пилотируемых космических объектов независимо от того, подвергались ли они интенсивным наземным тренировкам, как советские космонавты, или не имели подобной подготовки, как американские астронавты. Очевидно, основной причиной такого расхождения является несоответствие между теми воздействиями, которые приводят к развитию болезни движения в земных условиях, и имеющими место в реальном космическом полете.

Несомненно, что для разработки профилактических и лечебных мероприятий, препятствующих развитию космической болезни, необходимы глубокие и всесторонние знания ее основных механизмов. Однако ни одна из существующих теорий в отдельности не в состоянии объяснить все стороны этого явления.

Мы считаем, что рассмотренные в настоящей работе возможные механизмы космической болезни движения не противоречат

одна другой, а скорее взаимосвязаны и дополняют друг друга. Каждый из них (с большим или меньшим «удельным весом») может принимать участие в генезе космической болезни. Так, при наличии более или менее значительной исходной вестибулярной асимметрии именно она может оказаться ведущим фактором риска для одних лиц, и гемо-ликвородинамические сдвиги — при недостаточности адаптационных возможностей организма к перераспределению жидких сред для других. Наконец, третьи могут быть более чувствительными к сенсорному конфликту. В возникновении последнего свою роль, по всей вероятности, играют и интерорецепторы сосудистого русла, некоторых внутренних органов, а также чувствительные элементы кожи, активность которых изменяется в ответ на перемещение большого объема жидкости в краниальном направлении. Вместе с тем изменения гемо-ликвородинамики способствуют развитию вестибулярной асимметрии [Горгиладзе Г. И. и др., 1986].

Рецепторы лабиринта, проприоцепторы и некоторые интероцепторы «откликаются» на невесомость практически мгновенно и приводят к развитию вестибулярной асимметрии, так же как и к сенсорному конфликту и изменению привычного паттерна висцеральной афферентации. Однако наряду с указанными выше явлениями начинают формироваться и определенные сдвиги в других органах и системах, достигая максимума через значительно более длительные промежутки времени. Эти сдвиги уже являются следствием первичных реакций, вызванных невесомостью. Перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении вызывает изменение гемо- и ликвородинамики, повышение внутричерепного давления и циркуляторную гипоксию мозга вследствие венозного застоя, изменения водно-электролитного обмена, объема циркулирующей крови и нейроэндокринной регуляции [Москаленко Ю. Е. и др., 1971; Брянов И. И. и др., 1976; Газенко О. Г., Григорьев А. И., 1983; Тигранян Р. А., 1983]. Все это, безусловно, изменит общую реактивность организма, являясь своего рода критическим фоном, существенно понижающим порог возникновения космической болезни, что может объяснить хорошо установленный факт развития этого состояния не сразу после воздействия невесомости, а позднее (от 1 ч до 1,5—2 сут).

Не выяснены причины чрезвычайно широкого спектра индивидуальной чувствительности к космической болезни: быстрая, безболезненная адаптация без видимых симптомов у одних космонавтов и развитие отчетливой картины болезни у других. Но и в этом случае достигается устойчивая адаптация, в результате которой любая двигательная активность уже не вызывает болезненных явлений.

Несомненна связь космической болезни с феноменом вестибулярных нарушений. Однако малочисленность данных и разнообразие обнаруженных изменений вестибулярных реакций в реальном космическом полете затрудняют их использование для

установления этиопатогенеза этой болезни. Вместе с тем материалы полетных и послеполетных исследований позволяют все же высказать предположение о том, что для некоторых сенсорных систем и вестибулярной системы, в частности, стрессогенными факторами являются невесомость, а после адаптации к ней воздействие земной гравитации. Причем чем дольше сенсорные системы пребывают в невесомости, а следовательно, чем глубже произошла адаптация к ней, тем более выраженными становятся реакции на последующее воздействие гравитации.

Дальнейший прогресс в решении этой первостепенной проблемы космической медицины во многом предопределяется реализацией широкой программы изучения вестибулярной функции и взаимодействующих с ней сенсорных систем у космонавтов, а также на биологических объектах с применением инвазивных методов исследования.

К ПРОБЛЕМЕ ПАТОГЕНЕЗА ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ НЕВЕСОМОСТИ

Во время космического полета на организм постоянно действует невесомость. Более четверти века влияние этого необычного для земных условий фактора привлекает особое внимание. К настоящему времени опубликовано большое число работ по этой проблеме. Большинство из них посвящено частным и сравнительно узким аспектам, позволяющим детально, а в ряде случаев и достаточно глубоко осветить наблюдаемые конкретные изменения на разных уровнях биологической организации. Вместе с тем значительно меньше работ, в которых сделаны попытки обобщить имеющиеся многочисленные и иногда разноречивые данные. Настало время провести общий критический анализ материала, полученного во время действия невесомости на организм. Необходимо подойти к рассмотрению этой проблемы исходя из основных принципов патофизиологического анализа, который обычно используется в течение последнего столетия в теоретической медицине. Эти принципы были заложены и развиты академиком В. В. Пашутиным, учеником И. М. Сеченова и С. П. Боткина, впервые создавшим новый раздел теоретической медицины — патологическую физиологию. В настоящее время принципы патофизиологического анализа действия на организм самых различных факторов стали общепризнанными. Сделаны такие попытки и при анализе механизмов действия на организм невесомости или факторов, ее моделирующих. В данной работе мы хотим критически рассмотреть различные попытки анализа общих аспектов влияния невесомости на организм.

В 1970 г. Ч. Берри (Ch. A. Berry) и соавт. сделали одну из первых попыток представить некоторую схему действия на организм невесомости (схема 6).

Схема 6

Влияние невесомости на организм [Berry Ch. A. et al., 1970]

Невесомость

Перераспределение общего циркулирующего объема крови

Фаза стресса
Уменьшение содержания альдостерона
Снижение АДГ (рефлекс Гауэра — Генри)
Диурез

Фаза адаптации
Общие водопотери организма
Тенденция к увеличению секреции альдостерона и АДГ
Потери через почки
Клеточный обмен ионов Н на ионы К
Уменьшение объема плазмы
Уменьшение массы эритроцитов в результате гипероксии

Компенсаторная реабсорбция Na^+ в почках
Уменьшение содержания CO_2 в плазме в результате гипервентиляции
Уменьшение костно-мышечной массы

Фаза адаптированности
Прекращение водопотерь
Стабилизация веса
Новая внутриклеточная жидкость и электролитный баланс
Снижение работоспособности
Детренированность сердечно-сосудистой системы. Новая нагрузка на сердечно-сосудистую систему

Схема 7

Некоторые эффекты влияния невесомости на человека [White S. C., Berry Ch. A., Hessbery R. R., 1972]

Потеря массы эритроцитов
? Следствие токсичности O_2

Невесомость

Нервная система
↓ Вестибулярный аппарат:
Пороги болезни движения
? Дисбаланс электролитов
? Адаптация

Сердечно-сосудистая система
↑ Давление в предсердии
Рефлекс Генри — Гауэра
Объем крови (новый уровень)
?↓ Сократимость миокарда
Детренированность сердца

Жидкость/гормоны
↓ АДГ (потеря воды)
+
↑ Альдостерон (обратное всасывание Na^+)
↑ Потеря K^+ (почки)
Снижение K^+ тела
Мягкий компенсированный гипокалиемический алкалоз
↑ Кортизол+
Стресс
↑ Адреналин+

Кости и мышцы
↓ Потеря минеральных веществ (Ca^{++}, Mg^{++} K^- Cl^- P)
↓ Плотность костей
↓ Мышечная масса
↑ Ломкость костей
↑ Мышечная слабость
↓ Работоспособность
?↓ Периферическое сопротивление
?↑ Минутный объем

В этой схеме весь процесс адаптации делится на 3 фазы: фазу стресса и две стадии адаптации — фазу адаптации и фазу адаптированности.

Автор рассматривает определенную последовательность механизмов развития тех или иных изменений и ответных реакций при действии невесомости на организм. Переход к невесомости, как известно, вызывает перераспределение объема циркулирующей крови в верхнюю и центральную области сосудистого русла. В ответ организм стремится уменьшить этот объем крови. Происходит снижение продукции АДГ и альдостерона, т. е. включается гуморальное звено, что приводит к снижению содержания воды, а за ним и содержания ионов натрия и калия в организме. В результате этого масса тела снижается; за этим следует уменьшение объема плазмы и повышение выброса альдостерона, что в свою очередь приводит к возрастанию уровня натрия при продолжающемся уменьшении содержания калия. Одновременно, по мнению автора, происходит снижение уровня CO_2 в плазме в результате гипервентиляции. Здесь же отмечено уменьшение плотности костной ткани и мышечной массы скелетных мышц, а возможно, также и массы миокарда, причем не дается никаких рекомендаций о необходимости известной стимуляции и поддержания этих структур самим сохранением их функций. Затем автор указывает на водопотерю и приостановку снижения массы тела. В заключение на схеме показано последнее звено — детренированность сердечно-сосудистой системы, хотя обоснования этому процессу не дано.

Положительным моментом в работе цитируемых авторов является прежде всего сама попытка создания общей схемы механизма действия невесомости на организм. Ценно также стремление авторов рассмотреть вопрос по стадиям его развития. Вместе с тем нельзя не отметить определенную односторонность анализа с явным желанием выделить после основного звена — перераспределения циркулирующей крови — механизмы, связанные с изменением гормональной регуляции водно-солевого баланса организма. При этом полностью игнорируется одно из основных (исходя из физической сущности невесомости) звеньев в патогенезе — снятие действия силы земного притяжения и исчезновение деформации с различных органов и рецепторных участков организма. Весьма существенно также влияние отсутствия силы тяжести на энергетический обмен, на стимуляцию структурного обеспечения функций. Специальное значение имеют, конечно, и изменения взаимодействия комплекса рецепторов. На современном этапе стало очевидным, что в минеральном обмене важно изменение уровня не вообще всех электролитов, а прежде всего кальциевого обмена как ведущего звена во многих механизмах и функциях в организме. Кроме того, остается неясным, почему автор выделяет звено, связанное со снижением pCO_2 в крови, якобы возникающим за счет гипервентиляции при небольшой гипероксии в атмосфере. Нет прямого доказатель-

ства столь резкого стресса, вызванного невесомостью, и гипервентиляции при этом. Не ясно также, почему снижение массы эритроцитов в крови объясняется только небольшой гипероксией, которая имела место в атмосфере американских космических кораблей «Аполлон» при pO_2 258 мм рт. ст. Хорошо известно, что уменьшение количества эритроцитов действительно может иметь место при невесомости и особенно при длительной. Это обусловлено не только и не столько гипероксией, а, по-видимому, снижением запросов на транспорт кислорода при общем снижении нагрузки на мышечную систему в невесомости, а также снижением потребления O_2 в тканях. Это четко показано при изучении тканевого дыхания мышц в условиях невесомости [Маилян Э. С., Коваленко Е. А., Буравкова Л. Б., 1984; Коваленко Е. А. и др., 1986]. Имеются в этой схеме и отдельные звенья, которые просто трудно объяснить указанными выше причинно-следственными связями. Вместе с тем в схеме, несмотря на стремление к рассмотрению логической последовательности причинно-следственных зависимостей, в основном приведены зависимости только в гормональной регуляции водно-солевого обмена без анализа таких важных этапов, как регуляция с использованием не только гормонов, но и различных вторичных мессенджеров (циклические нуклеотиды, кальций и т. д.).

Кроме того, не рассматривается стимуляция такими специфическими импульсами, как импульс дефицита энергии из-за отсутствия распада макроэргов. Полностью игнорировано и столь важное звено, как регуляция ионами кальция процессов биоэнергетики в клетке мышечных сокращений, и ряд других процессов. Не выделена четко причинная связь основных патогенетических звеньев и сопутствующих условий, в которых они действуют. Не описана логическая закономерность возможных итоговых результатов тех или иных нарушений.

Рассмотрим схему 7, приведенную в работе Уайта, Берри, Хейсберг [White S. C., Berry Ch. A., Hessbery R. R., 1972]. В этой схеме авторы сразу же по непонятной причине связывают невесомость с уменьшением эритроцитарной массы в результате токсичности действия кислорода при относительной гипероксии (pO_2 258 мм рт. ст.). Уменьшение количества эритроцитов может происходить в результате усиления разрушения эритроцитарной мембраны активацией перекисного окисления. Одновременно, очевидно, будет и угнетен синтез эритропоэтина и произойдет уменьшение эритропоэза. Однако остается неясным, почему все это должно быть прямо связано с невесомостью, а не является результатом совершенно других причинно-следственных отношений. Возможно, здесь играет определенную роль снижение потребления кислорода тканями, но об этом ничего не сказано.

Невесомость как этиологический фактор влияет, по мнению, высказанному при обсуждении схемы Уайта и соавт., на нервную систему следующими путями: происходит снижение порогового уровня чувствительности ЦНС к болезни движения. Вместе с тем под вопрос ставится влияние нервной системы на нарушение солевого баланса и ее участие в адаптации к невесомости. Причем ничего не говорится о таком важном моменте, как снятие или ослабление при невесомости раздражений с целого ряда рецепторных регионов вследствие исчезновения центрального звена в патогенезе невесомости — деформации микроструктур в рецепторах и прилегающих к ним тканях. Последнее, естественно, снимает мощные потоки афферентации, постоянно тонизирующие функцию ретикулярной формации и ряда центров ЦНС. Иными словами, возникает сенсорная недостаточность.

В схеме рассмотрено, далее, влияние невесомости на сердечно-сосудистую систему. Отмечается повышение давления в предсердиях. После этого включается рефлекс Генри — Гауэра, что ведет к потере жидкости, снижению объема крови, активации выброса альдостерона и к удержанию в организме ионов натрия. Далее, как следствие уменьшенного объема крови показано уменьшение сократительной способности миокарда и в итоге развитие сердечно-сосудистой детренированности. Трудно согласиться с автором именно в такой последовательности причинных зависимостей. В снижении сократительных способностей миокарда первой причиной, по-видимому, является не уменьшение объема крови, а отсутствие необходимости преодоления сил гравитации, что ведет к уменьшению запросов на доставку кислорода и субстратов окисления, а также к снижению образования продуктов метаболизма. В этом заключается главное звено и всей последующей цепи событий. Суть дела, очевидно, в снижении уровня процессов биологического окисления в мышцах. Если бы не было этого главного звена, то при уменьшенном объеме крови в сосудистом русле в сердце для сохранения того же минутного объема крови необходимо должен был бы либо увеличиться ударный объем, либо повыситься ЧСС, либо произойти и то и другое одновременно. Однако этого не отмечается, так как запросы на обеспечение организма энергией и кислородом снижены. Затем авторы отдельно рассматривают звено, связанное с процессами в костях и мышцах, утверждая, что в невесомости усиливается выход из организма ионов Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+}, Cl^{-}, Na, P. Также отмечено, что потеря K^{+} в основном идет через почки. Это приводит к понижению содержания калия в организме. Можно согласиться с тем, как авторы подчеркивают связь понижения уровня K^{+} в организме с наступлением слабости в мышцах. При этом остается неясным, почему в это время должна усиливаться ломкость костей. В конце как итог действия невесомости авторы отмечают снижение физической работоспособности. Говорится также о снижении периферического сосудистого сопротивления и об изменении минутного объема кровообращения. Последнее может быть только в самый ранний период пребывания в невесомости, когда усилен венозный возврат к

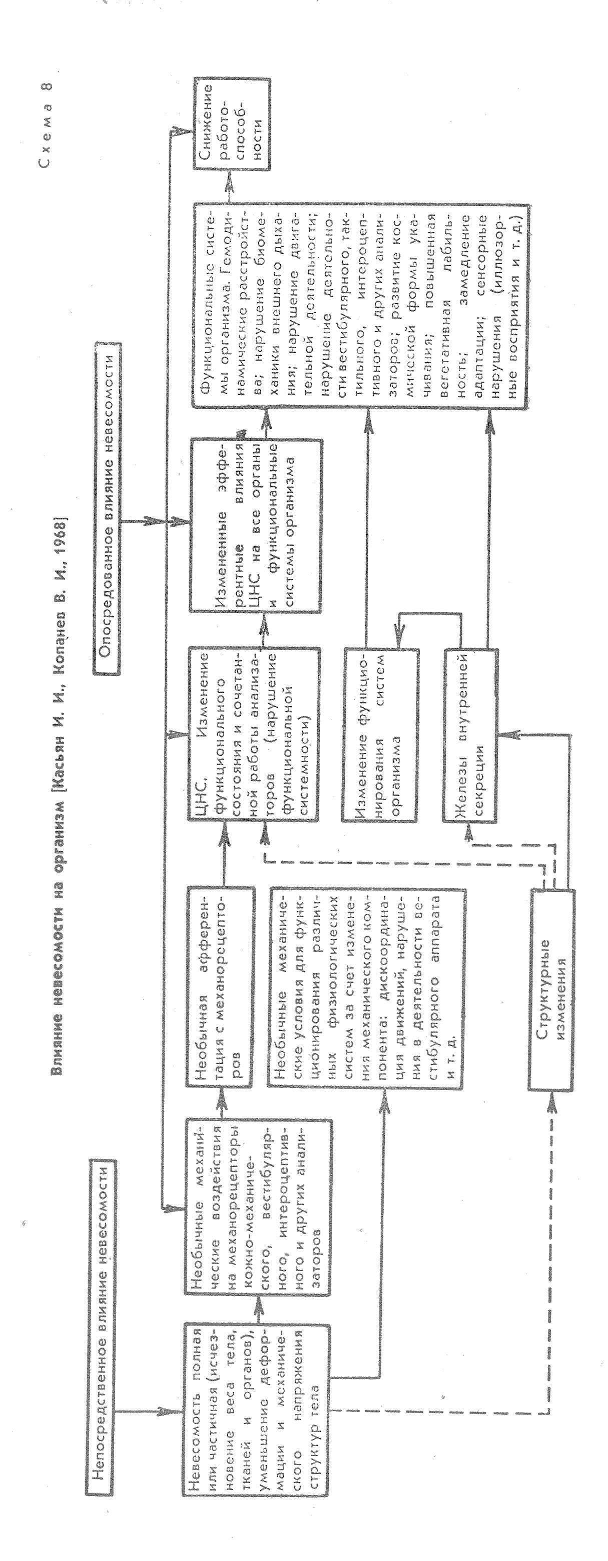
сердцу. Однако этот момент сравнительно быстро проходит, и минутный объем нормализуется, а затем даже снижается.

В конце авторы отмечают, что в крови якобы повышается содержание кортизола и адреналина, вызванное стрессом. По нашему мнению, с наличием стрессорной реакции можно согласиться в основном только в начале действия невесомости или, естественно, в конце полета при возвращении на Землю. Однако трудно полагать, что она может продолжаться в течение всего периода действия невесомости, когда влияние необычности этого фактора при явном снижении нагрузки на многие звенья афферентации, на биоэнергетику, мышцы, миокард и, наконец, на поддержание структуры и массы ряда тканей и органов явно уменьшается. Это, по-видимому, существенная ошибка, часто повторяющаяся при анализе действия невесомости. Говорить о роли стресса вообще как имманентно присущего невесомости не приходится. Итак, можно считать, что и в рассмотренной схеме недостаточно четко прослежены логические зависимости между уже выявленными и четко установленными изменениями в ряде систем и гипотетическими, предполагаемыми механизмами их развития. Здесь также отсутствуют принцип и логика патофизиологического анализа, отводится излишняя роль стрессу.

Рассмотрим заслуживающие внимания данные, приведенные в монографии «Невесомость», вышедшей в 1974 г. в нашей стране. В статье И. И. Касьяна и В. И. Копанева (1974) прежде всего дано раздельно непосредственное влияние невесомости и опосредованное ее влияние на организм (схема 8). Причем как первичный непосредственный результат действия невесомости в принципе правильно отмечается само «исчезновение» тяжести тела, тканей и органов. Далее это первичное влияние авторы разделяют на 2 основных звена. Прежде всего это, по мнению авторов, вызывает необычные механические условия для функционирования различных физиологических систем за счет изменения механического компонента, дискоординации движений, сюда же относятся нарушения деятельности вестибулярного аппарата и т. д. На схеме указано влияние этого исчезновения веса тела на структурные изменения тканей и органов. Причем, как это конкретно происходит и по каким путям идет реализация этих влияний, остается неясным. Более того, авторы постулируют влияние структурных изменений, но каких именно — неясно, на железы внутренней секреции, на изменение функционирования систем организма и даже на изменения функционального состояния и сочетанной работы анализаторов. Далее на схеме показаны вторичные опосредованные влияния невесомости. Упоминается о необычных механических воздействиях на механорецепторы кожно-механического, вестибулярного, интероцептивного и других анализаторов, которые в свою очередь создают резко ослабленную афферентацию с механорецепторов. Совершенно не понятно, почему рассматривается только влияние с механорецепторов, так как очевидно участие и волюморецепто-

Схема 8

Влияние невесомости на организм [Касьян И. И., Копанев В. И., 1968]



ров. Затем постулируется мысль, что эти афферентные потоки и нарушают сочетанную работу анализаторов и изменяют так называемую функциональную системность. На это же звено действуют, как отмечалось ранее, и определенные структурные сдвиги, вызванные «исчезновением» тяжести тела. Далее к опосредованному, т. е. вторичному, звену рассматриваемой схемы авторы относят также действие измененных, но уже ответных, эфферентных влияний ЦНС на все органы и функциональные системы организма. На схеме приведено еще одно звено, в котором просто перечислен ряд расстройств гемодинамики, биомеханики внешнего дыхания, двигательной активности и различных анализаторов.

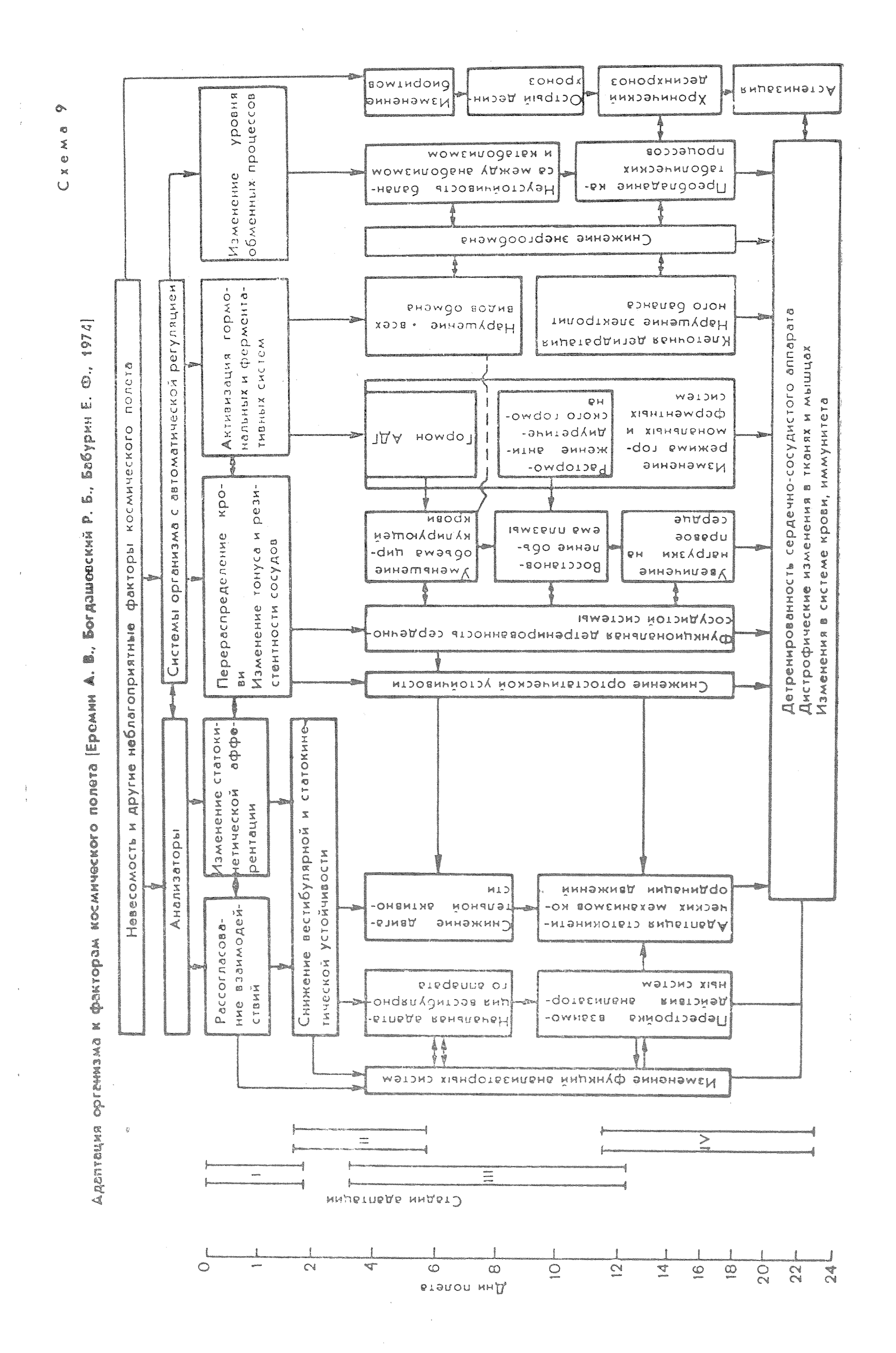
Затем говорится и о развитии космической формы укачивания. Отмечается повышенная вегетативная лабильность, а также замедление адаптации. В заключение всей схемы рассматривается итоговое снижение работоспособности, что, конечно, неминуемо должно иметь место, если даже существует часть перечисленных ранее изменений.

Несмотря на некоторые интересные элементы этой схемы и правильные взаимосвязи, в целом можно считать, что она в значительной степени эклектична и не содержит ряда важнейших звеньев патогенеза действия невесомости. В частности, не показано четкой связи причин и вызванных ими изменений сердечно-сосудистой системы, водно-солевого обмена и нарушений в костной системе. Естественно, что в настоящее время накоплено много новых данных о взаимосвязях между различными звеньями патогенеза.

В этой же монографии в 1974 г. приведена еще одна схема (схема 9), отражающая, по мнению авторов [Еремин А. В., Богдашевский Р. М., Бабурин Е. Ф., 1974], стадии адаптации организма к факторам космического полета в течение 24 сут. Анализ этой схемы показывает, что по существу в ней рассмотрен не процесс адаптации к невесомости, а в основном нарушения различных систем под влиянием невесомости. В самом начале, по-видимому, как этиологическая причина приводятся невесомость и другие неблагоприятные факторы космического полета. Причем не указано, какие именно другие факторы полета авторы ставят рядом с воздействием на организм невесомости. Отмечено влияние на анализаторы и почему-то на системы организма «с автоматической регуляцией», а также описано влияние на изменение биоритмов. Последнее также неясно.

Итак, основными патогенетическими звеньями представлены анализаторы и системы организма с автоматической регуляцией. Затем после этих основных двух звеньев в схеме показано, что анализаторы вызывают рассогласование взаимодействия, а также возниккновение изменений статокинетической афферентации. И все это создает снижение вестибулярной и статокинетической устойчивости организма. Затем на схеме показано возникновение начальной адаптации вестибулярного аппарата, которая ведет

Схема 9



Адаптация организма к факторам космического полета [Еремин А. В., Богдашевский Р. Б., Бабурин Е. Ф., 1974]

к перестройке взаимодействия анализаторных систем. Одновременно звено снижения вестибулярной и статокинетической устойчивости приводит к уменьшению двигательной активности, а затем, по мнению авторов, образуется адаптация статокинетических механизмов координации движений. В таком изложении схемы трудно провести логические связи.

Не ясно, почему звено адаптации статокинетических механизмов координации движений имеет прямую связь с конечным звеном, в котором приводятся данные о детренированности сердечно-сосудистой системы, дистрофических изменениях в тканях и мышцах и особенно нарушениях в системе крови и иммунитета. Конечно, в организме все взаимосвязано, но такой искусственный выбор причинных зависимостей кажется нам мало обоснованным. Во всяком случае из схемы и текста статьи этого не следует.

Далее из этой схемы не ясно, почему в одном ряду под общим названием «системы организма с автоматической регуляцией» приводится звено патогенеза в виде перераспределения крови (с изменением тонуса и резистентности сосудов). Затем приведены звенья активации гормональных и ферментных систем и изменения уровня обменных процессов, т. е. имеющие место почти при любом воздействии. Причем все эти звенья даны на одном уровне. Из этого следует, что в регуляции и последовательности действий они равнозначны, а не соподчинены. Логика в таком изложении цепи развиваемых процессов и зависимости явно отсутствует. Законы самой регуляции требуют четкого изложения причин и следствий их действия на основании общепризнанных путей регуляции в виде нервных и гуморальных звеньев, а затем уже изменения тонуса тех или иных сосудистых областей, а также адекватных изменений самого метаболизма. В четвертом ряду схемы под этими звеньями рядом, а не последовательно указано звено снижения ортостатической устойчивости и затем звено функциональной детренированности сердечно-сосудистой системы, которые связаны с уменьшением объема циркулирующей крови. Затем иллюстрация адаптации проводится в виде якобы центрального звена в схеме, т. е. наступающего восстановления объема плазмы. При этом наступает не частичная нормализация кровообращения, которое было нарушено за счет уменьшения объема циркулирующей крови, а резкое увеличение нагрузки на правое сердце, т. е. исчезновение патогенетического звена нарушения. В этом вопросе имеется явная путаница. Суть дела сводится к тому, что центральный объем циркулирующей крови в крупных сосудах малого круга кровообращения даже возрастает. Именно это и включает рефлекс Генри — Гауэра, направленный прежде всего на разгрузку центрального участка кровяного русла от избыточного переполнения кровью. В этот же период отмечается увеличение нагрузки на правое предсердие, а не так, как указано в схеме.

Трудно понимание и следующей группы звеньев в предполагаемой схеме механизмов действия невесомости. Возникает вопрос, по каким причинам происходит какое-то изменение с гормоном АДГ. Трудно представить себе по такой схеме, в чем заключается существо нарушений и тем более суть адаптивных процессов в столь важной части организма, как гормональная регуляция водно-электролитного статуса.

Интересно, что рядом с отмеченными звеньями, но не в связи с ними, декларативно говорится о нарушении всех видов обмена, которые почему-то прямо вызывают прежде всего клеточную дегидратацию и нарушение электролитного баланса, а также снижение энергообмена.

При этом ни о белковом, ни об углеводном или жировом метаболизме не говорится ни слова, хотя известно, что все эти виды обмена, особенно белковый, в определенной степени изменяются в невесомости. После этого под общим названием «изменение уровня обменных процессов» приводятся два последовательных звена. В первом из них говорится о неустойчивости баланса между анаболизмом и катаболизмом, а затем о преобладании катаболических процессов. Остается неясным, почему в период приводимой авторами IV стадии адаптации, т. е. стадии неустойчивого равновесия гомеостаза (с 14-го дня воздействия невесомости), по их классификации, на схеме показано преобладание процессов катаболизма.

Авторами сделана попытка рассмотреть и некоторые проблемы биоритмологии. Не понятно, почему это звено вообще введено в схему, так как достаточных подтверждений имеющихся фактических данных не имеется. Приведена следующая цепь зависимостей. Изменение и ломка биоритмов вызывают острый десинхроноз, который затем переходит в хронический и заканчивается астенизацией организма.

В последнем звене этой сложной схемы отмечено, что происходит детренированность сердечно-сосудистого аппарата наряду с дистрофическими изменениями в тканях и мышцах, а также наступают изменения в системе крови и иммунитета. Интересно, что авторы, располагая данными влияния невесомости только до 24-го дня полета, сделали попытку дифференцировать стадии адаптации к ней.

Характеризуя эту схему в целом, можно сказать, что авторы попытались определить не столько стадии становления адаптации к невесомости на ранних этапах ее действия, сколько процессы функциональных нарушений. Однако сама схема и выделенные стадии не позволяют понять патогенез так называемой болезни невесомости. Отсутствует патофизиологический принцип анализа и поэтому задачи, поставленные авторами работы с целью выяснения неблагоприятных адаптационных сдвигов, граничащих с патологией или переходящих в патологические, в данной схеме не решены. Что же касается стадий развития процессов, то, по-видимому, более удачными являются еще ранее пред-

ложенная схема [Dietlein L. F., 1964], а также ее дальнейшее развитие и модификация [Коваленко Е. А., Васильев П. В., 1971] с указанием предполагаемой степени нарушения ряда систем, в том числе сердечно-сосудистой, атрофии мышц, нарушений водно-солевого обмена, нарушений кальциевого обмена, нарушений гемопоэза, изменений уровня энергообмена, вестибулярных расстройств и общей астенизации. Причем весьма существенно, что в этой модифицированной схеме не только описаны изменения функции, имеющиеся к тому времени, т. е. до 22—24-го дней полета, но и гипотетически приведены предполагаемые изменения систем в периоды действия невесомости до 100 дней, т. е. сделана попытка прогноза, которую теперь можно проверить. Весьма существенно, что большинство отмеченных изменений в последующих длительных полетах в нашей стране во многом подтвердилось не только за 100 дней полета, но и в значительно большие сроки.

Рассмотрим еще одну из схем действия невесомости на организм, представленную в книге «Физиология в космосе» (1972). Существо этой схемы хорошо может быть воспроизведено по тексту в отдельных приведенных блоках.

Основными звеньями авторы [Anliker M. et al., 1972] считают прежде всего отсутствие гидростатического градиента давлений, утрату нормального естественного на Земле смещения подвижных структур или их постоянное необычное положение, затем потерю нагрузки весом и потерю тепловой конвекции газов и жидкостей. Причем все эти звенья даны как бы на одном и том же уровне. Рассматривается влияние отсутствия гидростатического градиента на снижение количества периферической крови. Не ясно, почему изменение гидростатического градиента должно снижать количество именно периферической крови, а не общего количества.

Авторы утверждают, что происходит изменение отношения вентиляции к кровотоку в легких. Последнее действительно может иметь место в невесомости вследствие увеличения кровенаполнения сосудов малого круга. Отмечено также звено начального возрастания общего и центрального объема крови, однако ясной причины этого не показано. Авторы сообщают об усиленной абсорбции жидкости через мембрану, но, почему и в каком направлении это происходит, не объясняют. В этом звене следует отметить влияние растяжения центральных механорецепторов объема, т. е., иными словами, опять-таки включение рефлекса Генри—Гауэра, что в свою очередь обусловливает высокий уровень диуреза и затем уменьшение объема плазмы ниже нормальных величин.

Авторы приводят еще два звена, опосредованные, по их мнению, основным начальным звеном в виде отсутствия гидростатического градиента. Это прежде всего недостаток нормальной стимуляции сосудистых и внесосудистых механорецепторов с изменением деятельности симпатической нервной системы и секреции регуляторных гормональных веществ. Вторым звеном, зависимым от предыдущего, является хроническая циркуляторная адаптация к невесомости с потерей адекватного реагирования на силы гравитации и инерции, т. е., по мнению авторов, представляющей собой итог событий — детренированность. Трудно по этим данным установить строгую последовательность событий и получить четкое их подтверждение в экспериментах.

В правой части схемы авторы показали звено «потери нагрузки тяжестью тела», оно вызывает снижение мышечной деятельности и уменьшение потребления O_2, что приводит к ослаблению функции сердечно-сосудистой системы и одновременно к подавлению обменных и нейроэндокринных процессов. Возразить против этой последовательности событий трудно, но фактических данных у авторов было явно недостаточно.

Дж. А. Руммел и соавт. [Rummel J. A. et al., 1979] также дают схему механизмов влияния невесомости на организм (схема 10)[1]. Они считают основными звеньями воздействия невесомости отсутствие гидростатических сил и деформаций. Авторы не раскрывают, что они имеют в виду под отсутствием деформации, а это крайне важно. Отсутствие гидростатических сил вызывает, по мнению авторов, перемещение жидких сред организма в направлении к голове, что усиливает афферентную активность прессорецепторов. Далее, это же усиление афферентной активности прессорецепторов вызывает изменение в сердечно-сосудистой, почечной, гормональной, вегетативной и даже в биохимической системе. Очевидны определенная эклектика в этом изложении, а в последнем случае и отсутствие строгости в причинно-следственных связях.

Далее авторы в качестве одного из центральных звеньев описывают вестибулярные нарушения и их влияние на уменьшение аппетита и чувства жажды на начальном этапе. Почему это так важно для последующих событий, не ясно. Это звено в патогенезе в основном играет важную роль на первом этапе космической болезни.

Следующая цепь причинно-следственных зависимостей показана как влияние отсутствия деформации на уменьшение афферентных проприоцептивных сигналов и дальнейшее наступление снижения тонуса и массы позной мускулатуры. Все это замыкается на изменениях сердечно-сосудистой, почечной, гормональной и биохимической систем. Нельзя не отметить недостаточно логически обоснованные или отдаленные зависимости в этих звеньях. В ряде случаев они просто не доказаны.

Авторы особо рассматривают нарушения метаболизма в костной ткани, не приводя при этом хотя бы некоторых хорошо известных фундаментальных механизмов молекулярных и биофизических зависимостей и изменений, как, например, роль пьезоэлектрического эффекта в поддержании микроструктуры костей

[1] Схема приведена в модификации по В. В. Парину и соавт. (1975).



Схема 10

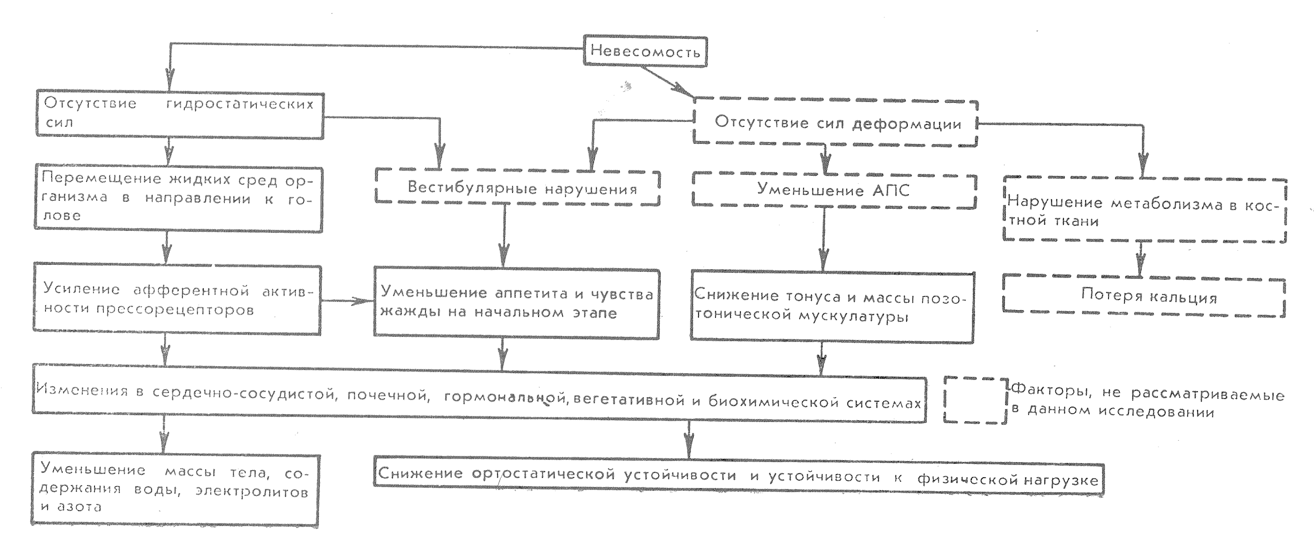


Схема 11

Патогенез нарушений, обусловленных влиянием невесомости и направления профилактических воздействий (видоизмененный вариант по А. М. Генину и И. Д. Пестову, 1971)

Искусственная гравитация
Невесомость
Бортовая центрифуга с коротким радиусом
Декомпрессия нижней половины тела, дыхание под избыточным давлением, окклюзионные манжеты на конечностях
Снятие гидростатического давления крови и тканевой жидкости
Изменение афферентации, в том числе от гравирецепторов
Снятие весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат
Перераспределение крови к голове
Сенсорные реакции, иллюзии
Вестибуловегетативные реакции
Изменение пространственного анализа
Гиподинамия, гипокинезия
Физическая тренировка, нагрузочные костюмы, электростимуляция мышц
Система отбора и тренировки
Отечность лица и слизистых оболочек области головы
Заболеваемость
Перестройка координации движений
Серопрофилактика, фармакологические препараты
Бортовая аптечка
Иммунологические сдвиги
Механизмы нейрогуморальной регуляции функций
Средства повышения неспецифической сопротивляемости организма, гипоксия
В полете
Фармакологические и гормональные препараты
Снижение объема циркулирующей крови, дегидратация
Детренированность сердечно-сосудистой системы
Атрофия мышц, снижение силы и выносливости
Декальцинация костей
Гормональные препараты
После приземления
Снижение физической работоспособности, общая астенизация
Компрессия нижней половины тела
Снижение устойчивости к перегрузкам и вертикальной позе
Дискоординация основных двигательных навыков
Щадящий режим, дозированное увеличение нагрузки
Сенсорные двигательные и вегетативные проявления реадаптационного синдрома
Водная иммерсия, физиотерапия

а
б

[Bassetti C. A., 1965]. Мы уже говорили о значении этого эффекта как причины потери кальция и определенной тенденции к деструкции костей в невесомости [Коваленко Е. А., 1974].

В качестве итоговых звеньев авторы рассматриваемой схемы приводят уменьшение массы тела, содержания воды, электролитов и азота в организме, а также снижение ортостатической устойчивости и устойчивости к физической нагрузке. Опять-таки хотя это и имеет место при длительной невесомости, но причинно-следственные зависимости не показаны и в ряде случаев недостаточно обоснованы существующими связями и уже известными механизмами.

В работе А. М. Генина и И. Д. Пестова (1971) приводятся схема основных звеньев механизма действия невесомости на организм человека и некоторые методы профилактики этих воздействий (схема 11).

Основными первичными механизмами действия невесомости, по мнению этих авторов, являются три звена: снятие гидростатического давления крови и тканевой жидкости, нагрузки под действием силы тяжести на костно-мышечный аппарат и изменение афферентации, в том числе от гравирецепторов.

Снятие гидростатического давления крови и тканевой жидкости приводит к перераспределению крови к голове, отечности лица, к уменьшению ОЦК и в итоге через механизмы нейрогуморальной регуляции к снижению устойчивности к перегрузкам и вертикальной позе. Второе основное звено в механизме действия невесомости (снятие нагрузки на костно-мышечный аппарат) связано, по мнению авторов, с гиподинамией и гипокинезией, которая ведет к перестройке координации движений, влияет на нейрогуморальную регуляцию функций и в итоге вызывает дискоординацию основных дыхательных навыков. С этими влияниями в такой последовательности можно согласиться.

Третьим центральным звеном является изменение афферентации, в том числе от гравирецепторов, которая в невесомости вызывает сенсорные реакции и иллюзии, вестибуловегетативные реакции, а также изменение пространственного анализа. При этом остается неясным хотя бы гипотетический механизм указанных явлений. Необходимо хотя бы кратко описать не только вызванные нарушения, но и компенсаторные реакции. Желательно наметить также логические звенья порочных кругов при действии тех или иных экстремальных факторов, в том числе невесомости. Заслуживает внимания попытка авторов направить те или иные профилактические мероприятия на определенные звенья возможных нарушений. Причем они приводят широкий комплекс различных профилактических мероприятий, включающий такие универсальные средства, как искусственная гравитация, декомпрессия нижней половины тела, окклюзионные манжеты на конечностях, а также ряд других профилактических средств. Вместе с тем в ряде случаев указанные мероприятия еще не в полной мере и не всегда адекватно соответствуют строго тем или иным звеньям предполагаемых патогенетических изменений функции и структуры под действием невесомости. Следует отметить, что в то время еще не было данных, полученных в длительных полетах (до полугодия и более).

В течение последних 20 лет нами неоднократно делались попытки представить общую схему патогенеза невесомости. Причем основным принципом нашего подхода стал общепризнанный в теории медицины принцип патофизиологического анализа [Коваленко Е. А., Васильев П. В., 1971]. В 1972 г. нами была сделана попытка представить схему механизмов действия невесомости. При этом была высказана мысль о том, что по мере нарастания длительности полета невесомость, по-видимому, начинает оказывать на организм все более отчетливое неблагоприятное действие. В этой работе впервые были рассмотрены и сопоставлены филогенетический и онтогенетический аспекты данной проблемы. Причем было специально обращено внимание на то, что на ранних этапах филогенеза в первородном океане весьма длительный этап эволюции от одноклеточных до рыб проходил в условиях иммерсионной среды океана, близкой по ионному составу относительной плотности к живым организмам. Интересно, что и теперь одним из лучших методов моделирования действия невесомости на организм является погружение в иммерсионную среду, т. е. жидкость, близкую по относительной плотности к массе тела. Это крайне важный эволюционный аспект проблемы. Качественно новый шаг в развитии животного мира произошел примерно 350—400 млн. лет назад при выходе из океана на сушу. Это был грандиозный гравитационный перелом на пути эволюции. Здесь надо было решить две основные задачи: как передвигаться на Земле и как добывать кислород из воздуха. Прежде всего потребовались новые, более высокие энергетические затраты на преодоление силы гравитации. В этой связи существенно усовершенствовались средства доставки кислорода, значительно стала меняться и сама структура организма — его костно-мышечная система, а также и ряд других систем. Все эти изменения теперь в новых условиях должны были обеспечить возможность противостоять силе земного тяготения. Требования к энергетике оргаанизма существенно повысились.

В этой связи обратим внимание на очень важный аспект всей проблемы. В процессе перехода от жизни в океане, где на 1 л морской воды при 20 °С приходится около 6,5 мл кислорода, к новой среде обитания на суше, когда в воздухе содержится около 210 мл кислорода на 1 л (т. е. более чем в 30 раз), основная задача дыхания состояла в том, чтобы максимально улучшить и ускорить функцию средств доставки кислорода к ферментным системам из новой среды обитания и улучшить его утилизацию, в условиях, где его во много раз больше. Переход к жизни на суше существенно увеличил потребление кислорода животными. В этом направлении большой интерес представляют исследования П. А. Коржуева (1971), показавшие, как в ходе

эволюции по мере преодоления сил гравитации происходит более интенсивное развитие костного мозга и образование гемоглобина. Вся система транспорта кислорода в виде легочного дыхания и системы кровообращения, позволяющей резко увеличить объем доставляемой крови и особенно на конечном участке с широким развитием микроциркуляторного русла, дает возможность более чем на порядок увеличить доставку кислорода к митохондриям при максимальной интенсивности физической работы. По мере все более и более успешного преодоления сил земного тяготения возникли и более высокие энергетические потребности. Произошло и значительное совершенствование главного канала ресинтеза энергии в организме. Иными словами, протекание реакции окислительного фосфорилирования у сухопутных животных стало более эффективным. На единицу кислорода, расходуемого при окислении, стало ресинтезироваться большее количество АТФ и других макроэргов.

Мы специально обращаем внимание на этот важнейший путь совершенствования биоэнергетики. Дело в том, что в условиях невесомости у млекопитающих и, в частности, у крыс, находившихся в полете на трех биоспутниках серии «Космос» в течение всего 18—22 дней, происходило четкое и статистически достоверное снижение окислительного метаболизма и уменьшение сопряженности окислительного фосфорилирования. Интенсивность тканевого дыхания в мышцах после полета и степень фосфорилирования были снижены на 50% по сравнению с контролем. Это свидетельствовало о существенном угнетении окислительных процессов и реакции накопления энергии в мышечной ткани [Маилян Э. С., Коваленко Е. А., Буравкова Л. Б., 1985]. Таким образом, на этом примере видно, что одно из завоеваний эволюции при переходе от пребывания в иммерсионной среде океана к жизни на суше в условиях невесомости даже после сравнительно короткого периода времени начинает нарушаться. Рассмотрение причин, сделавших необходимым преодоление силы земного тяготения в процессе эволюции, нам кажется вполне правомерным. Это поможет лучше понять и точнее увидеть те звенья в патогенезе невесомости, которые могут начать изменяться в этих условиях. Рассматривая звено, касающееся процессов доставки кислорода в ткани и повышения интенсивности окисления в организме, необходимо отметить еще мало освещенный фундаментальный аспект этой центральной проблемы. Наряду с процессами биологического окисления, как известно, во всех тканях и клетках организма непрерывно протекает важнейший процесс свободнорадикального перекисного окисления липидов (СПОЛ), который может приводить к деструкции фосфолипидных мембран органелл клеток (митохондрий, лизосом), эндоплазматического ретикулума и даже мембран самих клеток [Владимиров Ю. А., Арчаков А. И., 1972; Фридович И., 1979; Эмануэль Н. М., 1982]. Все это может положить начало развитию целого ряда нарушений. Для предотвращения этой так называемой свободнорадикальной патологии постоянно функционируют в организме антиоксиданты — токоферол, убихинон, каратиноиды, а также комплекс антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы, глютатионредуктазы, глютатионпероксидазы, а также и каталазы. Нейтрализация постоянно идущих в тканях организма процессов перекисного окисления всем комплексом антиоксидантной защиты является одним из важнейших звеньев кислородного гомеостаза организма и сохранения целостности его биомембран. В последние годы на эти фундаментальные процессы обращено особое внимание. Как себя поведет эта система в условиях длительной невесомости, сейчас еще трудно предсказать. Однако если происходит изменение процессов биологического окисления, то может возникнуть так называемый холостой сток электронов. Это в свою очередь может явиться дополнительным источником резкой активации перекисного окисления липидов мембран клеток [Бурлакова Е. Б., Храпова Н. Г., 1986; Герасимов А. М., Деленян Н. В., 1986]. В какой мере именно это звено кислородного гомеостаза может изменяться в невесомости, еще трудно предвидеть, но наличие самого «свободного стока электронов» при нарушениях процессов окислительного фосфорилирования в невесомости уже доказано, а следовательно, может возникать и активация перекисного окисления.

Важнейшим этапом в эволюции стал также период, когда предшественники человека стали постепенно переходить на вертикальное положение; у них отмечался более высокий гидростатический напор жидкости, что создало новые условия для поддержания адекватной гемодинамики в организме. Особого внимания заслуживает в этой ситуации специфика кровоснабжения мозга. Это крайне важные моменты, которые в процессе эволюции как бы дважды заставляли системы организма перестраиваться, чтобы противостоять силе земного тяготения, первый раз после выхода из океана на сушу и второй при принятии вертикального положения.

Логика биогенетического закона подсказывает необходимость рассмотрения и второго, не менее важного аспекта этой проблемы: ее онтогенетического ракурса. Человек и большинство млекопитающих в процессе своего онтогенеза, как известно, несколько месяцев находятся в условиях частичной невесомости и гиподинамии в период внутриутробного развития. Удивительно, что хрупкий и несовершенный организм развивающихся животных и человека на первых этапах своего развития защищен не только от целого ряда других факторов, но и в значительной степени избавлен от резкого воздействия мощной силы земного тяготения, создающей деформации и оказывающей нагрузку на все системы организма. Потребность организма в энергии, а следовательно, и в доставке кислорода в этих условиях также значительно ниже, чем в последующий период внеутробной жизни. Эволюция постепенного совершенствования в

преодолении силы земного тяготения наблюдается при развитии ребенка, который вначале только лежит, затем ползает, неуверенно встает и приподнимается и затем начинает ходить все более уверенно.

Важнейшим выводом из этого является то, что организм и в филогенезе и в онтогенезе уже в какой-то мере встречался с условиями, близкими к невесомости, и прошел путь развития, направленный на их преодоление.

Современная космонавтика ставит теперь перед медициной и биологией важнейший теоретический и практический вопрос: может ли организм человека высокоорганизованных животных вновь на достаточно длительный период освободиться от действия силы земного тяготения?

Попробуем детально рассмотреть на основе принципов патофизиологического анализа и учения о гомеостазе организма, что происходит с организмом человека, когда он попадает в условия невесомости.

К сожалению, с позиций гомеостаза анализ вообще не проводился.

Благополучие организма, как известно, наблюдается при условии сохранности его гомеостаза, т. е. колебания основных параметров внутренней среды организма возможны и допустимы, но должны находиться в определенных пределах или во всяком случае если и выходят за них, то на сравнительно небольшой интервал времени. Начнем с главного, т. е. рассмотрим, что происходит с обычным гомеостатическим состоянием организма при действии земной гравитации. В обычных условиях жизни на Земле на организм постоянно действует сила веса, т. е. сила, с которой тело давит на опору. Такое давление имеется прежде всего в соприкасающихся участках, где сила тяжести естественно наибольшая, так как на опору давят и все расположенные выше точек соприкосновения части тела. Тело как бы неравномерно «нагружено» силами, действующими вниз по направлению к опоре. Вес тела и его частей как бы давит при вертикальном положении на все расположенные ниже части с разной силой. При этом возникает важнейший физический эффект действия силы веса — определенная деформация, причем различная в разных участках тела. Изменение формы и расположения живых структур, их определенная деформация и сжатие реально иллюстрируются даже простым уменьшением роста молодого человека при вертикальном положении тела на 3—5 см по сравнению с таковым после длительного положения лежа. Действие силы тяжести фактически затрагивает многие системы, органы, ткани, клетки, клеточные органеллы и даже крупные биомолекулы. Деформация проявляется в виде сжатия тканей, растяжения связок, сдавления хрящей, растяжения стенок сосудов под действием тяжести крови, натяжения и смещения каркасных элементов и самой паренхимы органов и тканей, перемещения крови и жидких сред в межклеточных пространствах

и т. д. Происходят изменения величины деформации в разных участках организма и разных структурах, которые могут колебаться от микронов до сантиметров. В нижних отделах тела и подвижных его участках (внутренние органы, некоторые мышцы, жидкие среды и т. д.) смещения выражены больше. Вышележащие участки тела сдавливают нижележащие и создают уплотнения различных податливых элементов ткани. Происходят изменения форм и расположений многих мембран клеток. Особое значение во всех этих случаях имеет, конечно, перемещение жидкости и прежде всего крови. Поскольку жидкость практически несжимаема и нестрого фиксирована в тканях, то происходит смещение ее вниз по вектору гравитации. Возникающее при этом гидростатическое давление во всех крупных сосудах создает усиление давления на стенку сосудов. Возникает растяжение самих сосудов. Создается давление их растянутых стенок на все подлежащие ткани. Причем это гидростатическое давление крови, добавляемое к давлению, создаваемому нагнетающей силой сердца и тонусом сосудов, обусловливает своеобразное распределение дополнительной квоты давлений на всем разветвлении сосудов от более крупных артерий к мелким и далее в артериолах, прекапиллярах и капиллярах [Lundgren O., Jodal M., 1975]. Особое значение при этом имеет возникновение гидростатического давления в венозной системе, как в мелкой венозной сети, так и особенно в крупных венах нижних конечностей [Gayton A. C., 1963]. Именно этот момент создает определенную нагрузку на венозное русло, которое в обычных условиях компенсируется целым комплексом факторов. К этим факторам относится, например, дополнительное сокращение мышц («венозная помпа») и функция «внутримышечного периферического сердца» [Аринчин Н. И., 1980]. Возникает также своеобразное распределение крови на терминальных участках микроциркуляции. При этом может меняться соотношение нутритивного и шунтирующего кровотока в капиллярных комплексах терминального участка сосудистого русла. В этом случае констелляция регуляторных влияний меняет перераспределение и отток крови из капиллярного русла по шунтирующим, т. е. более крупным терминальным, капиллярам. Более того, могут включаться и дополнительные запасные капилляры, по которым как бы компенсируется застой крови, возникающий при действии гидростатического давления в поле земного тяготения [McDonald D. A., 1974; Johnson P., 1982].

Итак, действие силы тяжести весьма многогранно и влияет на макро- и микроструктуры организма. Сдавление тканей и смещение их элементов и деформации в них при действии силы тяжести, естественно, прежде всего приведут к включению мощных потоков афферентной информации от различных рецепторных образований (вестибулярных, механорецепторов, тактильных, проприоцептивных, интерорецепторов и т. д.). Более того, имеются данные о том, что давление и микросмещения, даже в

таких плотных тканях, как структуры кости или кристаллов в отолитах вестибулярного аппарата, вызывают генерирование небольшого электрического потенциала, который может обусловить цепь последующих метаболических изменений в данной ткани [Bassetti C. A., 1965] и, в частности, стимулировать трофику и рост костей. Таким образом, есть основания полагать, что в условиях обычной жизни на Земле нормальное состояние гомеостаза включает в себя и те разнообразные воздействия, которые постоянно оказывает на организм сила веса — от деформаций, влияющих на живые структуры, до мощного потока комплекса афферентных влияний, действующих на регуляторные системы нейроэндокринной регуляции, а также дополнительные нагрузки на биоэнергетику и силовые нагрузки на мышцу.

В условиях же невесомости все указанные деформации и смещения исчезают. Существенно снижается силовая нагрузка на весь организм и все его системы. Снятие деформаций естественно приведет и к снятию или резкому изменению афферентного потока с различных рецепторов, сдавленных и деформированных до этого. Таким образом, главным звеном во всей цепи событий является снятие сдавления и деформаций, вызываемых обычной силой веса. От этого звена по сути дела удается проследить логические связи с другими звеньями механизма действия невесомости. Попробуем это сделать.

Понятие «деформация» давно существует в классической физике. Однако оно не нашло еще должного понимания и применения в медицине и биологии. В области гравитационной биологии и космической медицины это понятие должно приобрести особое значение, так как вскрывает первопричину всей последующей цепи изменений при исчезновении действия на живые организмы силы веса.

Снятие деформации, по нашей прежней схеме, приводит к общему снижению афферентных, структурных и энергетических нагрузок на весь организм, резко снижает и изменяет потоки афферентации в ЦНС, меняет форму эластичных структур организма, смещает жидкие среды, уменьшает нагрузку на опорно-двигательный аппарат, существенно снижает энергетические запросы, необходимые ранее для преодоления силы веса.

Попробуем теперь рассмотреть критически и попытаться исправить или дополнить предложенные нами общие схемы патогенеза действия на организм невесомости [Коваленко Е. А., 1974; Коваленко Е. А., Касьян И. И., 1983].

Основные звенья патогенеза авторами рассматриваются раздельно (схема 12). Звено, определяющее отсутствие деформации в организме, приводит к изменению афферентации, уменьшению мышечного тонуса, изменению структуры костей и т. д. Второе важнейшее звено — это смещение жидких сред, вызывающее изменение функции сердечно-сосудистой системы и водно-солевого обмена. Одним из центральных звеньев патогенеза мы считаем изменение биоэнергетики.

Существенным отличием от описанных выше схем являются попытки определить в каждом звене применение профилактических средств. Однако уже сейчас очевидно, что ряд важнейших регуляторных звеньев, подробно изученных за последние годы, не находят еще отражения в данной схеме. В частности, не представлено регуляторное звено ЦНС, а также гормональные пути регуляции, хотя в тексте это подробно рассматривается. Вместе с тем на современном уровне следовало бы уделить большее внимание регуляторной роли нейропептидов в условиях невесомости, а также значению изменения синтеза вторичных мессенджеров (цАМФ и цГМФ).

При рассмотрении нарушений костного метаболизма нельзя было не отметить такого важного универсального регулятора в организме, как кальмодулин.

Остановимся теперь более подробно на основных звеньях патогенеза нарушений, возникающих в невесомости.

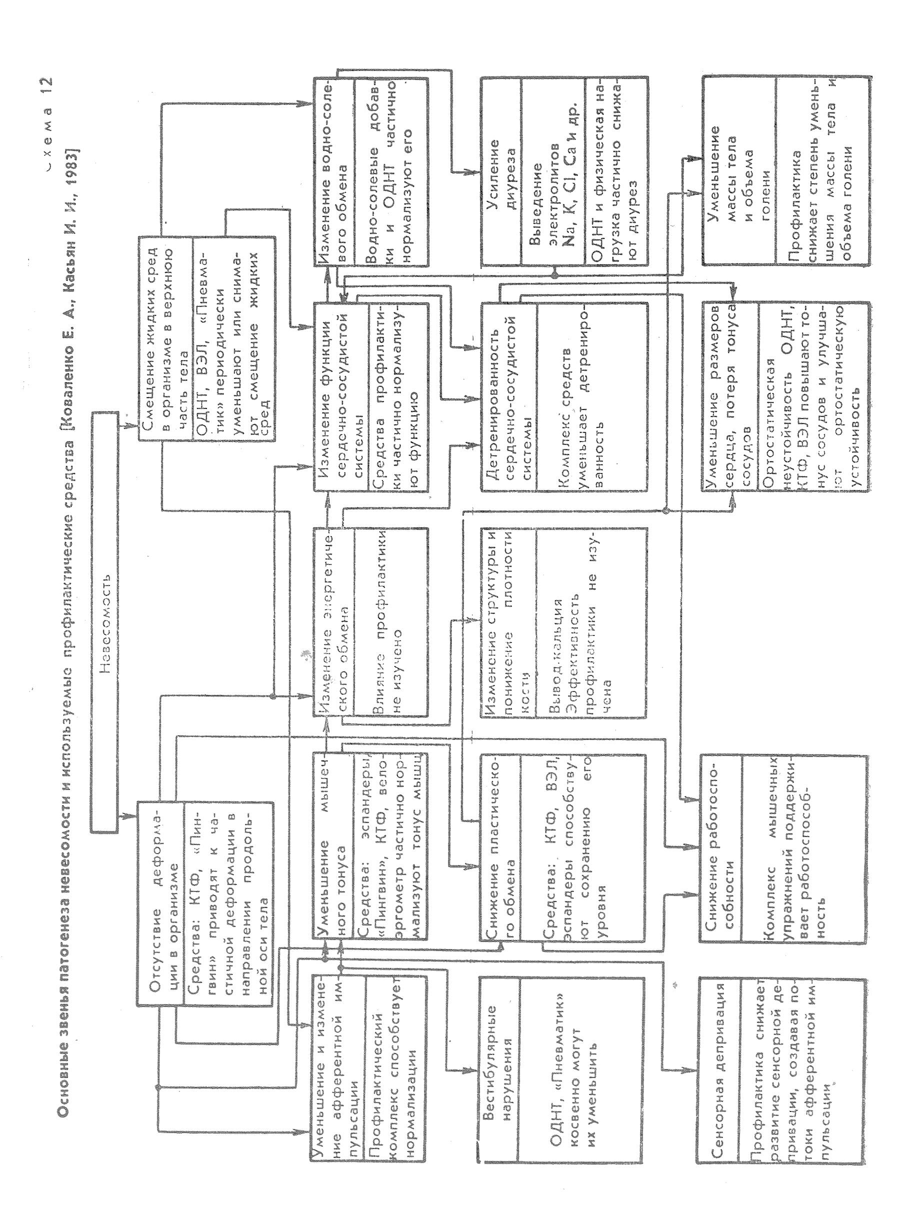
Прежде всего невесомость, как показано выше, снижает деформации клеток, тканей и органов. Одновременно исчезает вес крови и, следовательно, ее гидростатическое давление, снимается нагрузка с костно-мышечной системы. Таково первичное главное звено при действии на организм невесомости. Оно едино, но проявляется многогранными эффектами от увеличения роста до перемещения крови в верхнюю часть тела. Ранее мы описывали два основных звена в патогенезе невесомости. Очевидно, правильнее рассматривать его как единое звено, из которого следуют регуляторные, структурные и биоэнергетические последствия.

Вторым важнейшим уровнем влияния невесомости на организм является изменение целого ряда афферентных потоков. Исчезновение веса отолитов приведет к снятию их давления на рецепторы отолитов и их влияние на полукружные каналы. Ослабеют и изменятся тактильная афферентация, проприоцептивные влияния, сигналы с интерорецепторов. Даже при сохранении нормальных зрительных афферентных сигналов, но при потере веса глазным яблоком и уменьшении силы трения при его движении возникает нарушение взаимодействия всего комплекса анализаторов, ориентирующего человека о положении его в пространстве [Грюссер О., 1985]. Все это вызовет неадекватный поток извращенной афферентации в ЦНС. При этом могут возникнуть пространственные иллюзии, нарушения ориентации и координации движений. Одновременно с этим или вскоре после этого могут наступить вегетативные нарушения, изменения частоты и ритма сердечных сокращений, колебания артериального давления, регионарные нарушения кровоснабжения мозга, бледность, потеря аппетита и даже тошнота и рвота.

Механизм возникающих в невесомости нарушений заключается не столько в нарушении функции какого-либо одного ана-

Схема 12

Основные звенья патогенеза невесомости и используемые профилактические средства [Коваленко Е. А., Касьян И. И., 1983]



лизатора (даже такого специфического, как вестибулярный), сколько в разрушении обычно хорошо скоординированного действия комплекса анализаторных систем. Именно в этом рассогласовании афферентации и заключается одна из основных причин патогенеза космической болезни. При более детальном анализе механизмов ее развития можно допустить и следующий ряд причин, приводящих к возникновению комплекса так называемых «афферентных конфликтов». В частности, известно, что существует, как правило, врожденная разница в массе отолитов левой и правой стороны, которая в процессе онтогенеза выработала стойкую компенсацию в восприятии анализатора правой и левой стороны. В условиях невесомости происходит декомпенсация взаимодействия анализаторов и проявления явной асимметрии вестибулярного аппарата [Егоров Б. Б., Самарин Г. И., 1970]. При изменении положения головы импульсы с отолитов резко уменьшаются, а сигналы с рецепторов каналов остаются. Более того, при изменении положения головы в невесомости импульсы отолитов не меняются, в то время как на Земле они дают точную информацию о движениях головы. В то же время зрительная система в невесомости вполне адекватно сигнализирует о положении тела в пространстве, а сигналы с отолитов и вестибулярных каналов изменяются и не согласуются с показаниями зрения [Лапаев Э. В., Воробьев О. А., 1986].

Информация с механорецепторов и тактильные сигналы, так же как и вестибулярные анализаторы, не дают правильной информации о положении тела в пространстве. Возникает афферентный конфликт с тем стереотипом, с тем «образом», который сложился в «памяти» данного индивидуума в процессе его онтогенеза, в период раннего детства, когда человек обучается ходить и ориентироваться в условиях земного тяготения. Однако вся сложность этой проблемы не только в потере правильной ориентации в невесомости, но и в выраженных вегетативных нарушениях.

Вместе с тем возникает и еще одно дополнительное звено в космической болезни.

В обычных условиях имульсация с сосудистых областей и окружающих их тканей больше с нижней половины тела из-за гидростатического давления крови. В условиях же невесомости импульсация с барорецепторов сосудов и окружающих тканей усилена с верхней части тела, так как происходит перемещение жидких сред организма в краниальном направлении, а это усугубляет течение космической болезни.

Все эти конфликты могут возникать, как видно, между различными группами рецепторов. В последнее время особое значение придают зрительно-вестибулярному и каналоотолитовому конфликтам [Егоров А. Д., Юганов Е. М., 1985; Лапаев Э. В., Воробьев О. А., 1986]. Следует подчеркнуть и то обстоятельство, что исследованиями Б. Н. Клосовского и Е. Н. Космарской (1961) показано влияние раздражения вестибулярных центров

на особенности мозгового кровообращения и, в частности, на спазм сосудов мозга. В нашей лаборатории Архипов В. В. в последнее время установил четкое влияние укачиваний на резкое (до 50—60%) снижение напряжения кислорода в тканях лица и головы перед наступлением вестибулярных расстройств. Таким образом, среди ряда вегетативных расстройств, вызванных вестибулярными нарушениями, существенное значение имеет нарушение мозгового кровообращения.

Подводя итог рассмотрению важнейшего вопроса о патогенезе космической болезни, можно сделать вывод, что предложенная ранее схема ее патогенеза [Коваленко Е. А., Касьян И. И., 1983] должна быть расширена теми звеньями, в которых в большей мере детализируются различные «конфликты» между афферентными сигналами. Следует отметить, что вестибулярные нарушения протекают обычно на фоне определенной гипоксии мозга, так как теперь уже четко доказано нарушение кислородного режима в бассейне, снабжаемом сонной артерией.

Мы уже говорили, что с самого начала космического полета основным звеном действия невесомости на кровообращение является исчезновение гидростатического давления крови в сосудах и возникающее из-за этого изменение весьма существенных условий гемодинамики. Эти вопросы подробно разобраны в предыдущих разделах.

Анализируя данные о состоянии в невесомости сердечной деятельности и основных региональных сосудистых областей, полученные авторами, можно думать, что, если состояние невесомости продолжается достаточно долго и если профилактика не будет достаточно эффективна, то разовьется детренированность большого и весьма емкого участка сосудистого русла, которая наблюдается обычно после длительного пребывания в постели в горизонтальном положении [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980]. При возвращении из невесомости, даже при сравнительно коротком пребывании в ней, или принятии вертикальной позы после длительного нахождения в горизонтальном положении, как правило, развивается явление ортостатической неустойчивости, когда значительная часть крови устремляется в детренированное, потерявшее свой обычный тонус сосудистое русло нижней половины тела. В этих условиях особенно важно помнить, что регуляция сердечно-сосудистой системы не в состоянии быстро скорригировать необходимый кровоток в мозгу. Может наступить анемия мозга, потеря сознания, т. е. состояние ортостатического коллапса с уменьшением пульсового давления, резким повышением кровенаполнения нижних конечностей и компенсаторным учащением пульса. Опасность такой ситуации всегда существует в большей или меньшей степени и особенно после длительных полетов [Lamb E., 1964].

На развитие ортостатической неустойчивости после пребывания в невесомости влияет не только перераспределение крови в детренированном сосудистом русле, но и уменьшение объема

плазмы крови, которое регистрировалось неоднократно. Существом этого механизма является усиление стимуляции барорецепторов центральных венозных сосудов и особенно предсердий, а это способствует угнетению секреции антидиуретического гормона и альдостерона (рефлекс Генри — Гауэра), вызывая усиление натриевого и водного диуреза [Гарт О., 1986]. Правда, до настоящего времени не установлены роль и влияние не только АДГ, но и вторичного мессенджера — циклического АМФ. Известно, что действие АДГ опосредовано влиянием циклического АМФ. Содержание именно этого вещества (цАМФ) в моче должно обязательно меняться пропорционально снижению выделения АДГ. При действии этого рефлекса увеличивается диурез и снижается уровень цАМФ в моче.

В последние годы сделано крупное открытие, связанное с выяснением эндокринной функции сердца. Оно коренным образом изменяет наши представления о регуляции гемодинамики в организме, а также регуляции водно-солевого обмена. Установлено, что предсердия сердца синтезируют и секретируют в кровь так называемый пептидный гормон — атрионатрийуретический фактор (АФН) [Постнов А. Ю., 1987; Сургучев А. П. и др., 1987].

Этот гормон регулирует сосудистый тонус. Гормон предсердий расслабляет тонус сосудов в присутствии ангиотензина II и норадреналина, даже тогда, когда их концентрация на порядок превышает концентрацию АНФ. Сердце, таким образом, обладает возможностью отменить химические сигналы, посылаемые клетками других регуляторных систем. Показано, что действие АНФ после поступления его в кровь начинается быстро и в течение 1—2 мин достигает максимума. Диурез и экскреция ионов Na^+ и Cl^- усиливаются в десятки раз, но выведение ионов K^+ повышается слабо. Иными словами, усиление выделения АНФ при механическом раздражении барорецепторов предсердий вызывает обильное выделение мочи и электролитов, а это приводит к четкому снижению циркулирующего объема жидкости. Таким образом, открыто новое важнейшее звено регуляции и водно-солевого гомеостаза в организме и изменений объема циркулирующей крови и тонуса сосудов, приводящее к снижению артериального давления и изменению гемодинамики.

К сожалению, до настоящего времени еще не установлена роль АНФ в изменениях водно-солевого обмена в невесомости.

Экспериментальные данные и расчеты, приведенные К. Н. Hyatt (1970), показывают, что при имитации невесомости гипокинезией в горизонтальном положении потери объема внутрисосудистой жидкости до опыта в вертикальном положении составили у человека 500 мл, а при переходе в вертикальное положение во время ортостатической пробы после гипокинезии теряется еще около 500 мл жидкой части плазмы, выходящей из сосудистого русла, т. е. усиливается фильтрация жидкости из детренированных сосудов. Итак, объем крови может уменьшиться на 1000 мл, а не на 500 мл, как обычно в вертикальной позе

без предварительной гипокинезии. Это существенное снижение объема циркулирующей крови вместе с депонированием крови в потерявшие тонус сосуды нижних конечностей и определяют резкую анемизацию мозга. Это может произойти тогда, когда средства профилактики, о которых говорится на приводимой схеме патогенеза невесомости, будут недостаточно эффективны.

В условиях невесомости перераспределение крови и усиление кровенаполнения полых вен, правого предсердия, сосудов малого круга кровообращения и левого предсердия происходит посредством перестройки многих хорошо сбалансированных на Земле взаимодействий сердечных и сосудистых рефлексов. Особое значение при этом, конечно, имеет повышение давления в синокаротидной и аортальной области. По-видимому, этим можно объяснить определенное депрессорное влияние этой области при попадании в невесомость. Импульсы из этой области тормозят симпатические центры и могут возбуждать парасимпатические. Иными словами, артериальные барорецепторы оказывают постоянное депрессорное действие при увеличении кровенаполнения в этой области сосудов, вызванное невесомостью. Вместе с тем сигналы с рецепторов растяжения предсердий, от α-рецепторов предсердий (т. е. возникновение рефлекса Бейнбриджа), также обусловленные увеличением объема жидкости, могут вызвать противоположные влияния и прессорные реакции со стороны артериального давления и со стороны функции сердца. Однако хорошо известно непостоянство этого рефлекса, которое может резко зависеть от различной степени возбуждения α- и β-рецепторов в этих своеобразных условиях.

Отметим, что если влияние с синокаротидной и аортальной зон хорошо доказаны, то физиологическое значение рефлекса Бейнбриджа еще спорно [Винцлеб Э., 1986]. Здесь возникает как бы комплекс противоположных влияний и прессорного характера, направленного на скорейшую разгрузку центрального увеличенного объема крови, и депрессорного, направленного как бы на уменьшение резко усиленного кровоснабжения головы и мозга. Как правило, почти всегда при попадании в невесомость космонавты отмечают ощущение прилива крови к голове, тяжести в голове, а также отмечают некоторую гиперемию кожи лица и склер [Воробьев Е. И. и др., 1970]. Иными словами, увеличение кровенаполнения сосудов верхней половины тела хорошо ощущается даже субъективно, и естественно оно оказывает явное влияние и на рецепторные рефлекторные зоны. Естественно, что эти очевидные регуляторные влияния в невесомости, особенно в первый период пребывания в ней, могут быть замаскированы еще остающейся после начала полета стрессорной реакцией и выбросом при этом катехоламинов. Нельзя в этом случае исключить и вегетативные влияния в результате возможного нарушения вестибулярной функции. Таким образом, возникает целый комплекс подчас противоположных регуляторных сигналов.

Крайне важным звеном в патогенезе нарушений, вызванных невесомостью, является также уменьшение потребности в кислороде, а точнее энергетического запроса тканей многих систем организма при отсутствии действия силы веса. Это существенное обстоятельство, так как в физиологии имеется мнение, что «кислородный регуляторный механизм» в тканях может играть иногда даже большую роль, чем нервные регуляторные механизмы. Именно это было доказано в опытах при полной перерезке вегетативных нервов мышц, при этом строго сохранялась регуляция мышечного кровотока в зависимости от кислородной потребности данной ткани [Gayton A. C., 1969]. Снижение потребности в кислороде при уменьшении нагрузки на мышечную систему может привести к урежению ЧСС и снижению артериального давления, а затем и к снижению такого важного и по сути дела центрального показателя, как ударный объем сердца. Кстати, это действительно имеет место, как видно из статьи В. Ф. Турчаниновой и соавт., опубликованной в настоящем издании. Длительное снижение нагрузки на сердечно-сосудистую систему, вызванное уменьшением кислородного запроса, при недостаточной степени профилактики может привести к детренированности левого сердца и снижению тонуса сосудов большого круга кровообращения, в том числе тонуса артериол, вен и особенно капилляров.

В этом отношении уже имеются некоторые факты. На рентгенограммах грудной клетки у 19 из 27 астронавтов, входивших в состав экипажей кораблей «Аполлон», обнаружено уменьшение тени сердца. Поперечный ее диаметр уменьшился на 0,5—3 см по сравнению с предполетными данными. Интересно, что ЭКГ, записанные после полета, показали у ряда космонавтов уменьшение амплитуды зубца *T*; у некоторых американских астронавтов произошли сдвиги комплекса *QRS* и зубца *T*. Отмечались и изменения ритма сердца у американских астронавтов, совершивших полет на корабле «Аполлон-15». Как известно, члены этого экипажа во время полета, особенно при выходе на Луну, выполняли довольно большой объем физической работы и подвергались весьма существенным эмоциональным напряжениям. Спустя 177 ч после начала полета у пилота лунного отсека Д. Ирвина отмечалась желудочковая экстрасистолия, а через 179 ч полета перед отделением лунного модуля у него была обнаружена бигеминия (12 сдвоенных ударов сердца в 1 мин). В этих же случаях наблюдалась также и самая низкая ЧСС, зарегистрированная у космонавтов, которая, по мнению Ch. A. Berry (1971), во время сна в невесомости может достигнуть 30 в 1 мин.

Причину этих изменений американские авторы видят в уменьшении на 15% содержания калия (^{42}K), что было установлено через 5 дней после полета [Johnson R. L. et al., 1972]. Однако эти данные, по нашему мнению, как раз могут свидетельствовать о четком влиянии именно депрессорного рефлекса со стороны

синокаротидной зоны, что особенно резко проявляется именно во время сна, когда, как известно, парасимпатические влияния превалируют над симпатическими.

По нашему мнению, все эти данные подтверждают факт, что функция сердца, а возможно и его морфология и микроструктура тогда, когда еще не проводилась вполне адекватная профилактика и тренировка, даже после коротких полетов реагируют довольно быстро на снижение потребности в кислороде и изменения центральной и периферической гемодинамики в невесомости.

Наряду с этим наблюдаются и существенные изменения тонуса сосудов, которые четко демонстрируются при проведении ортостатических проб после полета. Напомним, что даже после коротких полетов на кораблях «Аполлон-10», «Аполлон-14» отмечалось выраженное снижение переносимости ортостатической пробы вплоть до развития предобморочного состояния. Резкое возрастание ЧСС, показателей артериального давления и кровенаполнения нижних конечностей, а также и субъективные симптомы свидетельствуют о том, что ортостатическая устойчивость после невесомости резко снижается [Berry Ch. A. et al., 1971].

После еще более длительного полета на корабле «Союз-9» у советских космонавтов при переходе в вертикальное положение сразу после полета отмечались головокружение, слабость и заметное учащение сердцебиения (см. статью А. Д. Егорова, О. Г. Ицеховского и др. в настоящем издании).

По нашему мнению, именно эти данные, полученные еще в тот период, когда не проводилась столь совершенная профилактика, как это стали делать значительно позже, заслуживают особого внимания. Несмотря на сравнительно короткие полеты того времени, четко удавалось проследить определенные изменения сердечно-сосудистой системы в невесомости. Следовательно, дело не в том, что невесомость не действует в более длительных полетах, а скорее в том, что применяемые средства профилактики явно достигают своей цели и не дают резких и выраженных изменений, что подтверждается довольно убедительными данными (см. статью О. Г. Газенко и др. в настоящем издании).

В итоге при возвращении на Землю развивается та или иная степень несоответствия функции сердечно-сосудистой системы и наиболее ярким симптомом этих изменений является развитие ортостатической неустойчивости. Естественно, что степень этих нарушений будет зависеть от того, насколько совершенно или недостаточно хорошо проводилась профилактика.

Остановимся еще на одном важнейшем вопросе. До настоящего времени, несмотря на более чем 25-летний период со времени первого полета человека в космос, мы мало знаем об особенностях наиболее важного в функциональном отношении отдела сосудистой системы, о микроциркуляторном русле, о капиллярном кровообращении в невесомости. Напомним, что общая площадь поперечного сечения капилляров только большого круга кровообращения составляет около 11 000 см^2 [Фолков Б., Нил Э., 1976]. Причем в покое на Земле перфузируется только 25—35% всех капилляров, т. е. площадь их составляет 2800—3900 см^2. Важнейшим показателем микроциркуляции является отношение перфузируемых капилляров к неперфузируемым. Этот показатель значительно колеблется. При моделировании в невесомости антиортостатической гипокинезии (—4°) было установлено явное нарушение микроциркуляции. В конъюнктиве глаза происходит уменьшение количества функционирующих капилляров, обнаруживается четкое расширение венул. Установлено выраженное нарушение кровотока в капиллярах, артериолах и венулах [Газенко О. Г., Чернух А. М., Федоров Б. М., 1977]. Более того, во время гипокинезии было выявлено отчетливое изменение капилляроскопической картины кожи ногтевой складки на верхней и нижней конечностях. Также установлено, что при длительной гипокинезии могут возникать явления, характерные для атонического состояния капилляров [Газенко О. Г. и др., 1977]. Казалось бы, что в случаях, когда в невесомости произойдет усиление притока крови и увеличение кровенаполнения сосудистых регионов в верхней части тела, кровоток должен бы улучшиться и усилиться. Однако ситуация складывается иначе. Перераспределение крови и увеличение кровенаполнения (хорошо регистрируемое методом реографии) приводят к венозному застою [Панферова Н. Е., 1977]. Следовательно, тончайшая координация микроциркуляции изменяется. Возможно, что в этом случае большее количество крови будет проходить по шунтам и меньшее — по капиллярам. Если это предположение верно, то уменьшение объема капиллярного кровотока приведет к ухудшению кислородного снабжения этих участков тканей. При моделировании действия невесомости антиортостатической гипокинезией у человека нам удалось четко установить, что без профилактических мероприятий происходит снижение объемного локального кровотока в коже руки с 50±7,0 до 35±5,3 мл/мин на 100 г ткани, а за этим следует и снижение напряжения кислорода в этой области с 38±0,8 до 28±2,6 мм рт. ст. Интересно, что здесь же происходит отчетливое снижение скорости потребления кислорода тканью с 14±0,9 до 8,0±1,0 мм рт. ст. в 1 мин, т. е. наблюдается спад кривой уровня pO_2.

Известно, что в невесомости наблюдается небольшая, но иногда стойкая отечность тканей верхней половины тела. Следовательно, изменяется не только микроциркуляция в сосудах, но и усиливается транссудация жидкости из капилляров в ткани верхней половины тела и особенно головы. Иными словами, в тканях, быть может, удлиняется путь поступления кислорода из капилляра к клеткам организма и к их органеллам. Наконец, нельзя исключить, что в невесомости может меняться и сама капиллярная проницаемость. Это удается четко наблюдать при

моделировании невесомости длительной гипокинезией [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980]. Для выяснения итогового и в полном смысле слова интегрального показателя эффективности микроциркуляции в верхней половине тела было проведено полярографическим методом изучение напряжения кислорода в коже руки и его динамики при функциональных пробах. Оказалось следующее: до полета pO_2 в среднем у космонавтов в коже руки составило 56±2,0 мм рт. ст., а во время коротких 7-дневных международных полетов на станции «Салют-6» — «Союз» напряжение кислорода на 2—5-й день полета достоверно снижалось до 38±3,3, т. е. на 35% от исходного ($p<0,05$). Более того, происходило и снижение скорости потребления кислорода с 13,5±0,3 до 10±1,0 мм рт. ст. в 1 мин. Весьма существенно, что и после полета на 2—3-й день уже на Земле оставались определенные изменения микроциркуляции, так как pO_2 все еще оставалось сниженным до 45±7,8 мм рт. ст. Оставалось невысоким потребление O_2, составляя 10±0,8 мм рт. ст. [Коваленко Е. А. и др., 1986].

Таким образом, по итоговому показателю микроциркуляции, т. е. по кислородному режиму тканей верхней половины тела, можно видеть, что даже кратковременное пребывание в невесомости приводит к четкому и остающемуся даже после полета изменению этого весьма тонкого и высокоинформативного показателя. Еще более убедительные данные были получены у 6 космонавтов, совершивших длительные полеты. В исходном периоде pO_2 в коже у них в среднем составляло 53±3,0, а во время полета на 32-е сутки — 25,6±4,0 мм рт. ст. Потребление кислорода снижалось с 13±0,5 мм рт. ст. в 1 мин в исходном предполетном периоде до 7,7±1,3 мм рт. ст. в 1 мин. После полета на 6—10-е сутки уровень pO_2 оставался сниженным и составлял 49±1,0 мм рт. ст., а потребление O_2 — 11±1,5 мм рт. ст. в 1 мин, т. е. также было ниже предполетного. Таким образом, очевидно, что невесомость вызывает отчетливые и зависящие от времени ее действия изменения такого интегрального показателя эффективности микроциркуляции, как кислородный режим тканей. Можно полагать, что в случае недостаточной профилактики невесомость при длительнем ее действии может влиять на кислородный статус организма, а следовательно, и на процессы биоэнергетики, т. е. на одно из важнейших звеньев гомеостаза организма.

При действии невесомости или ее моделировании просматривается четкая связь между особенностями изменения основных звеньев кровообращения и водно-солевого обмена. В настоящее время более подробно детализируются отдельные пути нервно-рефлекторных влияний с тех или иных волюморецепторов и особое внимание уделяется при рассмотрении гормональной регуляции водно-солевого гомеостаза роли вторичных мессенджеров и ферментам их регуляции, в частности аденилатциклазы. (Подробнее вопрос о водно-солевом гомеостазе рассмотрен в соответствующем разделе настоящего издания.)

Перейдем теперь к рассмотрению следующего важнейшего звена в патогенезе невесомости. В невесомости снижаются напряжение и функция мышц, обеспечивающих определенное положение тела в пространстве и постоянно противодействующих силе земного тяготения.

Весьма важно, и об этом мы уже говорили, что в невесомости произойдет изменение афферентации с мышц. Все это приведет к общему снижению тонуса мускулатуры, обеспечивающей как поддержание вертикальной позы, так и весь объем двигательной активности. Это хорошо подтверждается резким снижением вольтажа осцилляций и даже картиной «биоэлектрического молчания» антигравитационной мускулатуры [Юганов Е. М. и др., 1974].

При анализе движений человека принято различать само мышечное усилие, являющееся ответной реакцией на воздействие механических сил и в первую очередь силы тяжести, и непосредственно локомоторный акт. В невесомости изменяются оба компонента. В обычных земных условиях при всех движениях человек прилагает усилие, адекватное преодолению силы тяжести. В невесомости не надо удерживать части своего тела или те или иные предметы от падения вниз. Остается только компонента придания ускорения массе данного тела или остановки его ускоренного движения. В основном резко снижается потребность в статических усилиях и изменяется необходимость в динамических усилиях мышц. В невесомости ранее выработанный на Земле стереотип может стать источником ошибок. Увеличивается время выполнения двигательных актов, повышается количество ошибок при движениях и особенно в первый период пребывания в невесомости. Как показывает опыт длительных полетов, человек постоянно привыкает соразмерять необходимые мышечные усилия с новым соотношением сниженной гравитации [Иванов Е. А. и др., 1974]. Однако если в этих условиях не будут проводиться в достаточном объеме профилактические мероприятия в виде систематических комплексных физических упражнений, показанных на схеме (занятия на КТФ, велоэргометрах, эспандерах, ношение нагрузочного костюма «Пингвин» и т. д.), то может наступить не только нарушение самого мышечного аппарата, но и существенное снижение работоспособности. Это выявилось в кратковременных полетах, когда еще не использовался комплекс профилактических физических упражнений [Berry Ch. A., 1971, и др.]. По данным этого автора, у 48 астронавтов США после полета работоспособность снизилась в среднем до 73% от исходной. В условиях невесомости, как и при ее имитации длительной гипокинезией, может не только нарушаться координация движений, но могут происходить изменения энергетического и пластического обмена в мышцах и даже наступать определенные изменения в структуре и объеме мышц. Особенно хорошо и четко эти явления просматриваются при моделировании невесомости длительной антиорто-

статической гипокинезией, когда не проводится профилактика ее действия [Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н., 1980]. В частности, было установлено, что при продолжительности гипокинезии от 30 до 120 сут наряду с уменьшением объема мышц происходит потеря азота, фосфора, калия, кальция и ряда других элементов. Во всех случаях наступает атрофия мышц от отсутствия движений. Как правило, во время космического полета происходит уменьшение объема мышц и массы тела максимально на 6—7 кг. Известно, что чем интенсивнее функционируют мышцы, тем интенсивнее происходит обновление и новое строительство их структуры. Причем при увеличении физиологической функции клеток усиливается активизация генетического аппарата клеток и в этих случаях функция может как бы «потребовать» для себя усиления создания новой структуры.

При снижении функциональных нагрузок в невесомости и, в частности, нагрузки на мышцы может снизиться требование к поддержанию и обновлению ее структуры. Здесь мы подходим к самому центральному звену в патогенезе нарушений, вызываемых невесомостью, и к важнейшему постулату ученья о гомеостазе. Структура и масса живых систем, органелл, клеток, тканей, органов и т. д. прямо и непосредственно зависит от сохранения постоянного уровня энергетических процессов. Это особенно убедительно выявляется при рассмотрении функции мышечной системы. Обычно нормальное функционирование мышечного волокна определяется сохранением непрерывного и достаточного ресинтеза АТФ при постоянном его распаде во время работы мышц на АДФ и неорганический фосфор. Это как бы центральное звено биоэнергетики живых систем. Объем массы мышц, который может обеспечить за счет готовых миофибриллярных белков функцию мышцы, представляет как бы структурный резерв данного уровня работоспособности. Постоянным стимулом для построения, поддержания и сохранения структуры данной системы является ее интенсивное функционирование, постоянный или периодический, но интенсивный расход энергии, т. е. распад АТФ и других макроэргов до АДФ и их ресинтез. Увеличение или же уменьшение интенсивности функционирования данной ткани и ее структур стимулирует или угнетает генетический аппарат клетки и, в соответствии с современными представлениями молекулярной биологии, происходит регуляция функции синтетического аппарата (дефицит энергии→ДНК→РНК→белок). В классической работе В. А. Энгельгардта и М. Н. Любимовой (1939) было показано, что сократительный субстрат мышц — миозин действует как фермент. Он отщепляет фосфатную группу от АТФ, в результате чего высвобождается энергия, необходимая для сокращения. Отсутствие постоянной тренировки этого биохимического процесса или определенная его недостаточность в условиях длительной невесомости и длительной гипокинезии может привести к определенным нарушениям одного из центральных путей энергообмена.

На приведенной нами выше схеме показано, что центральное звено изменения энергетического обмена приводит к резкому снижению работоспособности. Вместе с тем необходимо было бы отметить и его четкую связь со звеном снижения пластического обмена, т. е. связь двух фундаментальных звеньев гомеостаза, так как изменение энергетического обмена оказывает влияние и на сохранение структуры органелл, клеток и тканей организма.

Весьма убедительным доказательством сказанного является тот факт, что, когда даже в сравнительно кратковременных полетах осуществлялась только половина запланированного объема физических профилактических упражнений, после 18 сут полета масса тела космонавтов снизилась на 3,99 и 3,5 кг, а окружность голени уменьшилась на 2,8 и 2,3 см. В 49-суточном полете масса тела у них снизилась на 7,3 и 6,6 кг, а окружность голени уменьшилась на 3,6 и 3,3 см [Рудный Н. М. и др., 1977]. Именно тогда, когда компенсация действия невесомости становится сниженной или явно недостаточной, тогда и начинают проявляться те или иные, а иногда и достаточно выраженные изменения функций, биоэнергетики или структуры.

Рассмотрим еще одно важное звено в системе общего изменения структур при невесомости (см. схему 12). В наибольшей степени это относится к структурам, которые выполняют главную опорную и поддерживающую функцию, т. е. к скелету в целом и различным связанным с ним структурам, таким как хрящи и связки, каркасные элементы органов и т. д.

Деформирующая сила тяжести вызывает такие изменения в строении кости, которые необходимы, чтобы наиболее адекватно противостоять этой силе. Одним из первых сигналов, как и при других воздействиях, здесь могут быть импульсы с нервных окончаний, расположенных в надкостнице, или в области сосудов, или же в элементах самой кости. Эти импульсы включают соответствующие трофические влияния и весь комплекс тонкой регуляции строения кости, в частности белкового и особенно кальциевого обмена, через гормональную активность паращитовидной железы (паратиреоидный гормон), щитовидной железы (изменение продукции тиреокальцитонина). Последнему гормону отводится особая роль в регуляции кальциевого обмена. При этом может наступить последовательное нарушение прежде всего белкового, фосфорного, магниевого, а затем и кальциевого обмена.

В этой связи большого внимания заслуживают фундаментальные открытия, сделанные Ясуда (1953), а затем и C. A. Bassetti (1965). Они показали, что именно при механической микродеформации в кости возникает электрический заряд и костная структура действует как пьезоэлектрический преобразователь механического напряжения в электрическое. Это подтверждается наличием в кости двух связанных кристаллических систем — кристаллов гидроксиапатита и кристаллов коллагена. Так как кристаллы коллагена имеют большее число электронов, чем кри-

сталлы гидроксиапатита, то при нагрузке и изгибах их поверхностей возникает разность потенциалов. Это происходит сразу во множественных точках соприкосновения огромного числа кристаллов. Именно исследования С. А. Bassetti показали, что первичным сигналом, регулирующим строение кости, и является деформирующая механическая сила. Эти электрические сигналы стимулируют функцию остеобластов, подавляют работу остеокластов. Таким образом, деформирующая сила веса как бы способствует постоянной генерации потенциала и строительству костной массы. С. А. Bassetti (1965) считает доказанным, что электрический потенциал, возникающий в кости при нагрузке силой веса, регулирует изменение и ориентацию костных элементов и массы костной ткани. Снятие деформации при невесомости исключает функцию остеобластов и их превалирование над остеокластами. Все это вызывает изменение деструкции костной ткани и вымывание кальция, содержащегося в костях.

Многие исследователи показали, что после космических полетов, когда не применялись профилактические мероприятия, уменьшалась плотность костей (в отдельных костях на 10—20% от исходной величины) [Hatter R. S., McMillan D. E., 1968; Berry Ch. A., 1971, и др.]. Наконец, в условиях невесомости доказана определенная степень потери кальция из костей. После полетов кораблей «Аполлон-7» — «Аполлон-11» (без применения профилактики) было установлено, что суточная потеря кальция в среднем составляла 635 мг, калия — 296 мг и железа — 6,4 мг [Brodzincki R. L. et al., 1971].

По расчетам цитируемого автора, потеря 635 мг кальция в сутки у космонавтов с массой тела 70 кг означает потерю 0,0605% кальция всего организма, что составит около 1% за 16-суточный полет. Даже при расходе 220 мг/сут общая потеря кальция составит около 0,021% в сутки, т. е. 1% за 48-суточный полет.

Итак, после пребывания в невесомости отмечаются три последовательно сменяющих друг друга явления: повышение содержания кальция в крови, снижается плотность костной ткани и усиливается выведение кальция из организма с мочой. Однако следует подчеркнуть, что в основном этот процесс происходит интенсивно, если не применить профилактических мер. В частности, повышенное содержание кальция в крови является предпосылкой ускоренной кальцинации сосудов, влияет на свертываемость крови, действует на качество биологического окисления в митохондриях, стимулирует образование камней в почках и т. д.

Таким образом, мы рассмотрели критически и последнюю приведенную нами схему патогенеза невесомости. В ней, несмотря на отмеченные выше недостатки, была сделана попытка не только в самой общей форме определить основные звенья патогенеза, но и во всех случаях рекомендовать применяемые при этом профилактические средства.

В заключение еще раз следует отметить следующее. Для выяснения механизма тех или иных хорошо выраженных изменений нам часто приходилось приводить факты четко установленных отклонений, а иногда даже и нарушения функций, именно тогда, когда даже в сравнительно коротких полетах они возникали по той причине, что еще не были разработаны профилактические меры или они были недостаточными. Следовательно, можно сказать, что успехи, достигнутые в настоящее время при проведении столь длительных полетов в течение до одного года, во многом определяются правильно выбранными средствами профилактики.

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНТ-ТРЕНИРОВОК КОСМОНАВТОВ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «САЛЮТ-7»

Известно, что в послеполетном периоде у космонавтов наблюдается снижение ортостатической устойчивости. В основе этих расстройств лежат не только эффекты гравитационного перераспределения крови, обусловливающие недостаточное кровоснабжение мозга в вертикальном положении, но и вестибуло-вегетативные нарушения, отражающиеся на регуляции вертикальной позы человека (см. раздел «Космическая болезнь»).

В этой связи в космической медицине утвердился комплексный подход к профилактике явлений детренированности организма космонавта, обусловленных адаптацией к невесомости. С этой целью в ряде наземных исследований по моделированию физиологических эффектов невесомости длительностью 15—182 сут был разработан и прошел практическую апробацию во время 62-суточного полета второй основной экспедиции на орбитальной станции «Салют-4» комплекс средств и методов профилактики, направленных в том числе и на предупреждение ортостатических нарушений в послеполетном периоде [Газенко О. Г. и др., 1979]. Суть комплекса состояла в его патогенетической направленности. Так, для профилактики дефицита мышечной деятельности применялся метод физической тренировки на бортовых устройствах — велотренажере и бегущей дорожке; для нормализации уровня гидратации организма — прием водно-солевых добавок на заключительном этапе полета; для активизации нейрогуморальных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы использовалось воздействие отрицательным давлением на нижнюю половину тела (ОДНТ). С тех пор методика воздействия ОДНТ в тренировочном режиме прочно вошла в практику медицинского обеспечения длительных космических полетов в СССР как один из основных методов подготовки организма космонавта к встрече с влиянием земной силой тяжести [Газенко О. Г. и др., 1976].

Нашей задачей является описание ОДНТ-тренировок космонавтов на ОС «Салют-7».

Первая основная экспедиция (ОЭ-1). На заключительном этапе 211-суточного полета планировалась ранее оправдавшая себя в полетах ОС «Салют-6» двухэтапная тренировка с воздействием ОДНТ в пневмокостюмах (ПВК).

I этап (предварительные тренировки) начинали за 19 сут, а II этап (основные тренировки) — за 2 сут до окончания полета.

Первые две тренировки в ПВК экипаж провел по одинаковой схеме, не превышая разрежение 35 мм рт. ст. При этом ЧСС у одного члена экипажа колебалась в пределах 79—82 в 1 мин, у другого достигала 137 в 1 мин. Показатели артериального давления соответственно составили 126/70 и 106/72 мм рт. ст.

Учитывая длительность полета, было решено дальнейшие тренировки проводить по индивидуальным схемам. Первому члену экипажа рекомендовалось создавать разрежение до 40 мм рт. ст., а второму — до 35 мм рт. ст.

Первую тренировку экипаж выполнил близко к рекомендованной схеме. По соображениям безопасности время пребывания 10 мин на «площадках» разрежения было сокращено до 5 мин. Вторую основную тренировку экипаж выполнил также по сокращенной схеме, еще более ограничив время пребывания на последних площадках.

ЧСС у первого члена экипажа при разрежениях 35 и 40 мм рт. ст. составила 72 и 84 в 1 мин, в то время как у 2-го космонавта на разрежении 35 мм рт. ст.— 116 в 1 мин и в отдельные периоды повышалась до 126 в 1 мин.

Вторая основная экспедиция (ОЭ-2). В ходе 150-суточного полета экипаж выполнил двухэтапную тренировку с воздействием ОДНТ в ПВК по схеме, близкой к штатной.

I этап (предварительные тренировки) начинался за 18 сут до посадки.

II этап (основные тренировки) предусматривал выполнение одной тренировки на 148-е сутки полета, за 2 дня до посадки.

По данным телеметрической информации, космонавты выполнили предложенные тренировочные режимы с воздействием ОДНТ близко к рекомендованной схеме. На I этапе один из них тренировался в течение 85 мин, другой — 67 мин. Устойчивость обоих космонавтов к воздействию ОДНТ была оценена как хорошая. Так, на разрежении —40 мм рт. ст. ЧСС у первого члена экипажа не превышала 84 в 1 мин (при исходной 58 в 1 мин), а у второго — 87 в 1 мин (при исходной 74 в 1 мин).

На II этапе, учитывая хорошую переносимость экипажем воздействий ОДНТ, было решено ограничиться проведением одной основной тренировки, а освободившееся время предоставить экипажу для выполнения дополнительных физических упражнений. Вместо запланированных 55 мин экипаж тренировался в ПВК в среднем 47 мин, сократив время пребывания на режимах 35 и 40 мм рт. ст., но периодически создавая по своей инициативе режимы 45 и 50 мм рт. ст. Устойчивость экипажа даже на таких

Таблица 26

ЧСС в 1 мин у членов экипажа ОЭ-3 на ОС «Салют-7» во время тренировок в ПВК

Тренировка	Величина разрешения (мм рт. ст.)	Члены экипажа		
		первый	второй	третий
Предварительная (1; 2; 3; 4-й этапы)	0	54 76 59 66	70 70 80 68	66 66 65 62
	—15	54 — — —	71 75 — —	69 69 — —
	—25	65 80 83 76	88 78 88 82	75 74 70 72
	—35	67 80 84 83	91 84 93 85	84 78 86 77
	—40	— 85 92 88	— 97 104 92	— 88 90 84
	—45	— — — 90	— — — 98	— — — 87
Основная первая (1; 2-й этапы)	0	67 —	80 —	56 —
	—15	72 83	90 96	60 —
	—25	72 88	70 96	63 72
	—35	81 93	90 90	— 76
	—40	98 105	99 100	89 72
Основная вторая (1; 2-й этапы)	0	— —	76 —	53 —
	—25	— —	86 90	67 72
	—30	— —	88 84	69 78
	—35	— —	102 90	84 78
	—40	— —	110 96	78 84

выраженных разрежениях была хорошей. Так, у первого члена экипажа при разрежении —40 мм рт. ст. ЧСС равнялась 72 в 1 мин, а при 50 мм рт. ст.— 78 в 1 мин, у второго — при разрежении —40 мм рт. ст. она составила 76 в 1 мин.

Третья основная экспедиция (ОЭ-3). Основной особенностью 237-суточного полета третьей основной экспедиции явилось присутствие врача на борту орбитальной станции. Тактика проведения профилактических мероприятий на заключительном этапе полета строилась в расчете на его активное участие.

Тренировки с воздействием ОДНТ начинали проводить за 18 сут до окончания полета. На I этапе экипаж выполнил 4 цикла предварительных тренировок с воздействием ОДНТ, а на II этапе — 2 основные тренировки по 2 цикла в каждой.

Врач-космонавт в ходе тренировки осуществлял медицинский контроль за самочувствием других членов экипажа: до, во время и после окончания воздействия ОДНТ измерял артериальное давление по Короткову, подсчитывал ЧСС (вне сеанса приема телеметрической информации) и передавал на Землю полученные данные в ближайшем сеансе связи.

По сообщениям врача и данным радиопереговоров с членами экипажа, а также на основании анализа телеметрической информацаии устойчивость космонавтов на всех этапах воздействия ОДНТ была достаточно высокой. Жалоб на ухудшение самочувствия не поступало. Экипаж довольно близко придерживался режимов и схемы предложенных воздействий.

Таблица 27

Показатели артериального давления (мм рт. ст.) у экипажа ОЭ-3 на ОС «Салют-7» во время тренировок в ПВК

Тренировка	Величина разрежения (мм рт. ст.)	Члены экипажа: первый				второй				третий			
Предварительная (1; 2; 3; 4-й этапы)	0	105/60	115/75	105/65	110/65	115/70	125/80	120/65	120/65	120/75	115/70	124/70	125/65
	—15	105/70	—	—	—	120/80	120/75	—	—	120/	120/75	—	—
	—25	110/70	115/75	105/75	138/60	115/70	120/69	115/65	118/85	113/53	112/55	120/80	128/60
	—35	100/75	125/56	118/50	127/58	115/75	120/47	122/45	—	115/48	118/62	132/60	124/66
	—40	—	123/60	—	130/58	—	110/50	117/45	122/54	—	118/66	130/50	118/
	—45	—	—	119/58	125/63	—	—	—	125/58	—	—	—	117/69
Основная первая (1; 2-й этапы)	0	110/75		—		120/65		—		106/62		—	
	—15	115/57*		120/85		115/80		120/55*		110/65*		—	
	—25	130/50*		110/80		110/75		110/60*		101/69*		115/60	
	—35	110/85		110/85		110/—		105/80		115/80*		110/80	
	—40	120/80		105/85		110/80		100/85		110/80*		110/80	
Основная вторая (1; 2-й этапы)	0	—		—		110/70		—		125/70		—	
	—25	—		—		110/75		120/45*		125/70		120/55*	
	—30	—		—		110/80		120/50*		125/75		130/57*	
	—35	—		—		105/85		120/55*		125/85		120/60*	
	—40	—		—		105/80		120/85		130/80		110/65*	

* Данные получены тахоосциллографическим методом.

В табл. 26 представлены величины ЧСС, полученные на 5-й мин пребывания на «площадках» разрежения, а в табл. 27 — соответствующие им показатели артериального давления.

У первого члена экипажа наибольшая величина ЧСС на I предварительном этапе была зарегистрирована на 227-е сутки полета при разрежении —40 мм рт. ст. и соответствовала 92 в 1 мин (повышение 33 в 1 мин) при артериальном давлении 119/58 мм рт. ст. На остальных режимах разрежения ЧСС колебалась в пределах 54—90 в 1 мин. Во время первой основной тренировки на 235-е сутки при разрежении —40 мм рт. ст. ЧСС достигала 105 в 1 мин (повышение 38 в 1 мин) при величине артериального давления 105/85 мм рт. ст. Повторную тренировку на 236-е сутки он не проводил в связи с удовлетворительным состоянием.

Полученные данные свидетельствуют о достаточно выраженных, но адекватных изменениях сердечно-сосудистой системы на воздействия ОДНТ. Отмечалась также тенденция к стабилизации реакции ЧСС и артериального давления на ОДНТ.

У второго члена экипажа в первом цикле предварительных тренировок наибольшая ЧСС 104 в 1 мин (повышение на 24 в 1 мин) была получена на 227-е сутки полета при разрежении 40 мм рт. ст. Она была несколько выше, чем у остальных членов экипажа. Однако уже на следующей тренировке она понизилась до 92 в 1 мин и не превышала 98 в 1 мин при разрежении —45 мм рт. ст. Показатели артериального давления составили

117/45—122/54 мм рт. ст. при разрежении —40 мм рт. ст. соответственно на 227-е и 231-е сутки.

На 2-м цикле основных тренировок частота сердцебиений на 236-е сутки полета повысилась до 102 и 110 в 1 мин при разрежении —35 и 40 мм рт. ст. (повышение на 26 и 34 в 1 мин) и была выше, чем на 235-е сутки при проведении первой основной тренировки. При этом наблюдались довольно низкие величины артериального давления — 105/85 и 105/80 мм рт. ст. (исходные величины 110/70 мм рт. ст.). После 1 мин отдыха во втором цикле тренировки ЧСС при разрежениях —35 и 40 мм рт. ст. стабилизировалась и была равна 90 и 96 в 1 мин, т. е. была ниже, чем в 1-м цикле, и совпадала с данными предыдущей тренировки. Пульсовое артериальное давление с ростом разрежения имело тенденцию к снижению.

Таким образом, у второго члена экипажа изменения сердечно-сосудистой системы на тренировочные воздействия ОДНТ были более выражены. Однако абсолютные значения ЧСС не превышали значений, зарегистрированных у некоторых ранее летавших космонавтов.

Полученные у второго члена экипажа изменения ЧСС и давления не прогрессировали в ходе тренировок, более того, несмотря на увеличение силы воздействия, имели тенденцию к стабилизации, что свидетельствовало о тренирующем влиянии ОДНТ.

У третьего члена экипажа на I подготовительном этапе ус-

тойчивость к воздействиям ОДНТ тренировочного характера была достаточно высокой. Наибольшая ЧСС составляла 90 в 1 мин (повышение на 25 в 1 мин), наблюдалась во время основных тренировок, например на 228-е сутки при разрежении —40 мм рт. ст. При проведении следующей тренировки на 231-е сутки она снизилась до 84 в 1 мин, достигая 87 в 1 мин при разрежении 45 мм рт. ст. На остальных режимах ЧСС колебалась в пределах 69—88 в 1 мин. Артериальное давление изменялось незначительно и лишь на 231-е сутки имело выраженную тенденцию к снижению с усилением разрежения.

Во время основных тренировок абсолютные величины ЧСС у него были ниже, чем у остальных членов экипажа. Однако повышение ЧСС при воздействии ОДНТ было примерно одинаковым. Так, на 235-е сутки в 1-м тренировочном цикле при разрежении 40 мм рт. ст. ЧСС равнялась 89 в 1 мин (повышение составило 33 в 1 мин) при величине артериального давления 110/80 мм рт. ст. Во 2-м цикле наблюдалась стабилизация ЧСС на величине 72 в 1 мин, тогда как артериальное давление существенно не изменялось. При второй тренировке на 236-е сутки картина была иной. В 1-м цикле изменения ЧСС были умеренными (при разрежении 40 мм рт. ст.) — 78 в 1 мин (повышение на 25 в 1 мин), тогда как во 2-м цикле ЧСС возросла до 84 в 1 мин (повышение на 31 в 1 мин). Отмечалась тенденция к снижению артериального давления.

Следовательно, у него наблюдалась неустойчивая адаптация к тренировочным воздействиям ОДНТ. Хотя абсолютные значения ЧСС были преимущественно ниже, чем у остальных космонавтов при одинаковых величинах разрежения, однако повышение было примерно тем же.

Таким образом, третий основной экипаж выполнил тренировки с воздействием ОДНТ в ПВК, которые начал проводить за 18 сут до окончания полета. Переносимость предложенных перегрузок у всех членов экипажа была достаточно высокой. Случаев ухудшения самочувствия не отмечалось. Несмотря на рост величины разрежения и времени воздействия от одного цикла тренировки к другому, тенденции к увеличению выраженности реакции ЧСС и артериального давления не наблюдалось, что свидетельствовало об определенной адаптации сердечно-сосудистой системы космонавтов к моделированному перераспределению крови, но полной адаптации достичь не удалось.

Раздел V

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИЗУЧЕНИЕ ОСТРОГО ПЕРИОДА АДАПТАЦИИ К НЕВЕСОМОСТИ У ПРИМАТОВ

В последние годы в связи с увеличением требований к объему профессиональной деятельности на начальном этапе космического полета и созданием кораблей многоразового пользования центральное место среди задач космической физиологии и медицины заняла проблема изучения острого периода адаптации к невесомости. В этот период у космонавтов отмечается развитие ряда функциональных сдвигов, снижающих их работоспособность, осложняющих, в тяжелых случаях исключающих полностью выполнение запланированных на этот этап операций. К ним главным образом относятся следующие: 1) сенсорно-вегетативные изменения, называемые «космической болезнью»; 2) координаторные, обусловленные изменениями в деятельности систем управления двигательными реакциями; 3) гемодинамические, связанные с перераспределением жидкостных сред.

Успешное развитие методов прогнозирования, профилактики и купирования нарушений, возникающих в невесомости, невозможно без глубокого понимания их механизмов. Существующие в настоящее время гипотезы базируются в основном на результатах наземных модельных экспериментов и данных послеполетных обследований космонавтов. Вместе с тем моделирование невесомости в наземных условиях имеет ограничения, а трактовка данных, получаемых после полета, осложняется наличием нагрузок и перегрузок, возникающих при посадке. Последнее особенно значимо при оценке влияний кратковременных полетов, при изучении острого периода адаптации к невесомости.

Таким образом, становится ясной необходимость исследования деятельности систем организма непосредственно в ходе космического полета в экспериментах на животных. Объектом, наиболее близким к человеку по организации функций и систем, является обезьяна.

Задачей настоящего исследования было получение количественной информации о состоянии вестибулярного аппарата, системы управления движениями, сердечно-сосудистой системы в острый период адаптации к невесомости.

Помимо указанных выше исследований, в ходе полета накапливались и анализировались также данные, касающиеся состояния высшей нервной деятельности, биоритмологических особенностей, метаболических сдвигов и др.

Эксперименты проводились на 4 обезьянах-самцах Macaca mulatta в возрасте 3,5—4 года с массой тела 3—4 кг при полетах биоспутников «Космос-1415» (Абрек и Бион) и «Космос-1667» (Верный и Гордый).

ВЕСТИБУЛЯРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ ЯДЕР

Изучение симптомокомплекса космической болезни в космических полетах показало, что картине вегетативных нарушений предшествуют обычно психосоматические симптомы. Эти симптомы, наблюдающиеся у 90% участников космических экспедиций, включают пространственные иллюзии, ощущение вращения, головокружение, а также некоторые нарушения глазодвигательных реакций — нистагм, затруднение фиксации взора [Акулиничев И. Т. и др., 1965].

Существенную роль в развитии космической болезни, по данным большинства авторов, играют нарушения в деятельности анализаторных систем и в первую очередь изменения активности вестибулярного аппарата и его взаимодействия со зрительным и проприоцептивным анализаторами: в большинстве случаев (до 75%) проявление симптомов космической болезни космонавты связывают с двигательной активностью и с воздействием зрительных раздражений.

Эксперименты с участием человека, интенсивно ведущиеся как в СССР, так и за рубежом, открывая возможности описания особенностей функционирования анализаторных и сенсомоторных систем, не позволяют, однако, получить данные, необходимые для построения корректной теории патогенеза космической болезни. Главной причиной этого является невозможность жесткой стандартизации условий эксперимента и ограничение спектра применяемых методик. Эксперименты на животных лишены этих недостатков и ограничений.

Программа изучения вестибулярных реакций включала два электрофизиологических эксперимента, направленных на изучение состояния полукружных каналов (на модели реакции установки взора) и отолитового органа (на модели лифтных реакций).

В качестве экспериментальной модели для изучения вестибулярно-глазодвигательного взаимодействия в эксперименте с приматами была выбрана реакция установки взора (РУВ) на точечный объект, неожиданно попадавший в периферическое поле зрения. Организация этой реакции у приматов подробно проанализирована в работах E. Bizzi и соавт. (1971, 1972). Установлена также принципиальная тождественность реакции у обезьян и человека [Козловская И. Б. и др., 1981; Крейдич Ю. В. и др., 1982].

Точность и быстрота реакции установки взора обеспечивается автоматическим высокоординированным взаимодействием

трех ее компонентов: саккады в сторону цели, движения головы в ту же сторону и компенсаторного противовращения глаз. Эта координация, создающая единый двигательный комплекс из независимых программ движений глаз и головы, осуществляется системами обратных связей на основе проприоцептивной, зрительной и главным образом вестибулярной афферентации [Bizzi E. et al., 1973].

Реакция установки взора удобна для исследования состояния вестибулярного аппарата и особенностей его взаимодействия с другими афферентными системами, так как ряд ее параметров количественно характеризует изучаемые функции. Вместе с этим мы с помощью микроэлектродов регистрировали активность вестибулярных ядер во время движения глаз и головы и ее изменение во время полета.

Функция вестибулярного аппарата исследовалась у 3 из 4 обезьян (у одного животного, экспонированного на биоспутнике «Космос-1514», и у двух — на биоспутнике «Космос-1667»). Обезьяны были обучены после предварительной фиксации взора в центре поля зрения быстро переводить взор на расстояние 40 угловых градусов вправо или влево и фиксировать его на новом зрительном стимуле. Кроме того, кресло с обезьяной перемещали вверх и вниз на 50 мм. Время подъема при этом составляло 8 с, время спуска на Землю — 0,7 с и в невесомости — 1,4 с. Соответственно ускорения при подъеме составляли 0,0016 g, при спуске на Землю — 0,002 g и в невесомости — 0,007 g.

Регистрировали горизонтальные движения глаз (электроокулограмма) и головы, а также нейрональную активность медиальных вестибулярных ядер. Для регистрации нейрограммы в полете использовали микроэлектроды сопротивлением 0,7—1,0 мОм, которые позволяли фиксировать как суммарную клеточную активность, так и потенциалы действия отдельных близлежащих клеток. Сопоставление этих сигналов, полученных с одного и того же электрода, позволяло судить как о состоянии клеточной популяции в целом, так и о работе ее отдельных элементов.

Информация записывалась на магнитную пленку. Одновременная регистрация кинематических параметров движений глаз и головы (их направления, амплитуд, скоростей, ускорений), а также характеристик активности нейронов вестибулярных ядер открыли широкие возможности для проведения не только функционального, но и в некотором смысле структурного анализа сдвигов, вызываемых невесомостью и адаптивными процессами в системах вестибулярно-окуломоторного взаимодействия.

Исследования проводили ежедневно в течение всех дней полета в одно и то же время суток по одной и той же циклограмме, включавшей 11 лифтных раздражений, а затем выполнение программы РУВ, в течение которой животные выполняли до 600 установок взора. Контролем служили регистрации, проведенные на месте старта космического корабля и в наземных экспериментах.

Как до полета, так и в течение полетных дней обезьяны активно отрабатывали экспериментальную программу, хотя время выполнения ее в первые дни полета было большим и достигало у одного животного 118 мин, а у другого 96 мин. В последующем длительность выполнения программы прогрессивно уменьшалась и к 5—7-му дням полета достигла цифр, близких к исходным (25—30 мин). Сопоставление данных анализа временных характеристик РУВ, в частности продолжительности латентных периодов саккад (несколько увеличивавшихся) и моторной реакции нажатия на рычаг (существенно не изменившейся), с одной стороны, и количества ошибочных ответов и соответственно временных штрафов, с другой, позволяет заключить, что увеличение времени отработки программ у обезьян в первые дни полета было связано со снижением точности РУВ.

Переход к невесомости, а первые регистрации РУВ во втором полете были проведены через 2 ч после начала полета, сопровождался у обезьян признаками отчетливого повышения динамической возбудимости вестибулярного аппарата, а именно четким снижением скорости движения головы, обусловливающим торможение саккад, и существенным повышением коэффициента вестибулярно-окулярного рефлекса ($К_{вор}$): если перед взлетом $К_{вор}$ у обезьяны Гордый удерживался около 1 и составлял в среднем 1,1±0,04, как это бывает в норме (поскольку в противном случае при продолжающемся движении головы взор будет терять мишень), то через 2 ч после взлета эта величина удерживалась около 2. И в дальнейшем — на 3—5-е сутки полета высокий процент больших значений $К_{вор}$— 2; 2,5; 3 сохранялся в гистограмме данного параметра. Однако наряду с этими значениями со 2-х суток отмечались малые значения $К_{вор}$, близкие к нормальным. К 6-м суткам число реакций, в которых $К_{вор}$ был больше 2, отчетливо уменьшалось. Выраженная нестабильность, вариабельность $К_{вор}$ в этих условиях отражала, по-видимому, смешение проявлений прямых влияний невесомости и адаптивных процессов, возвращающих значение этого важного функционального параметра к норме. Следует отметить, что, несмотря на высокие средние значения $К_{вор}$ во время 5-х и даже 6-х суток полета, мода параметра уже со 2-х суток и более была близка к 1.

Интересным представляется также выявившийся в этих исследованиях факт появления в невесомости асимметрии $К_{вор}$, не наблюдавшийся при выполнении РУВ на Земле: при установке взора на правый сигнал у обезьяны Гордый в фоне $К_{вор}$ составлял 1,1±0,04, через 2 ч полета 1,5±0,11 и далее соответственно дням полета — 1,7; 1,8; 2,0; при установке взора на левый сигнал в фоне $К_{вор}$ был равен 1,1±0,04; в полете же его величина возрастала несколько круче, составляя в те же дни 1,8; 2,2; 2,1; 2,6. Выявившаяся асимметрия сохранялась до последнего дня полета.

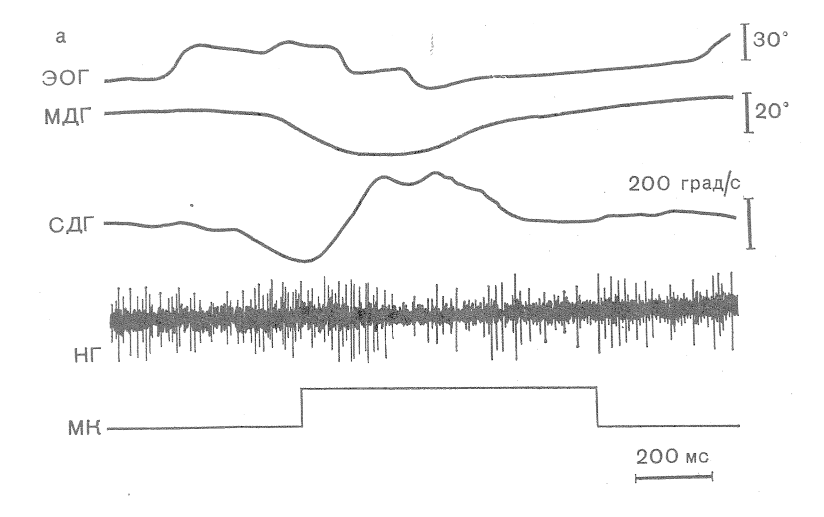
Процессы адаптации к невесомости и работе в условиях повышенной вестибулярной возбудимости были связаны у обеих обезьян с торможением движений головы: уже через 2 ч полета амплитуда движений головы, составляющая в фоне в среднем 21,6±1,1 углового градуса, уменьшалась до 15,4±0,7, т. е. на 30%; на 5—7-е сутки — еще более значительно, достигая 50% от исходных значений. Соответственно снижались максимальные и средние скорости движений.

В целом результаты данного раздела работы полностью подтвердили и расширили прежние данные, показав, что переход к невесомости сопровождается выраженным облегчением каналовых вестибулярно-окулярных реакций. Это облегчение проявляется сразу после взлета и сохраняется до 5—7 сут полета. Развитие адаптации при этом связано с включением двух механизмов — раннего поведенческого, обусловливающего торможение движений головы, и отставленного центрального, связанного с устранением избыточности вестибулярно-окулярной передачи.

Это заключение нашло подтверждение в данных анализа нейрограмм. В эксперименте были получены высококачественные нейрографические данные по трем каналам, две регистрации были проведены у обезьяны Верный и одна — у обезьяны Гордый. При этом в одном из этих отведений (обезьяна Верный) наряду с суммарной нейрональной активностью наблюдалась устойчивая регистрация работы 2—3 отдельных клеток (рис. 17). Как видно на рис. 17, суммарная нейрональная активность при выполнении реакции установки взора обезьяной Верный содержит четко выделяющиеся из фона потенциалы действия, которые с помощью порогового устройства преобразованы в импульсы стандартной формы. Результаты такого преобразования показаны на рис. 17.

Гистограммы в нижней части рисунка отражают изменения активности отдельных нейронов при движениях головы перед стартом и в каждый из 7 дней полета биоспутника. Движения головы в данном случае были двухфазными — вначале слева направо, а затем справа налево. Амплитуда и длительность движений были примерно одинаковыми. При анализе импульсной активности каждую фазу движения разбивали на четыре фрагмента и подсчитывали число импульсов в каждом из них. Фоновую активность оценивали по числу импульсов в интервале 400 мс до начала движения. Построение гистограмм активности клеток проводили по 25 движениям для каждого дня. Пунктирная линия показывает фоновый уровень активности клеток вне движений.

В наземных условиях движения головы вправо сопровождались возрастанием импульсации клеток, а движения влево несколько урежали частоту импульсации. При переходе к невесомости обе реакции претерпевали изменения: возрастание активности при движении вправо в первые 2 ч полета не отличалось от фонового, а затем (на 2, 3, 4 и 5-е сутки) было от-



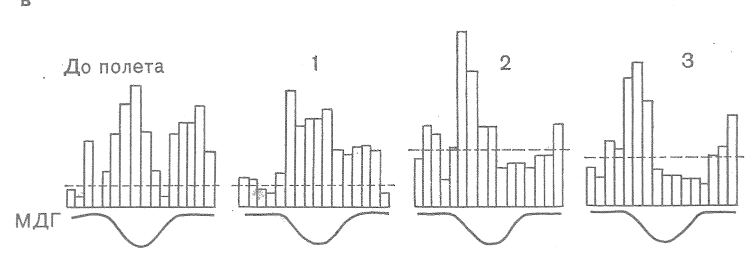
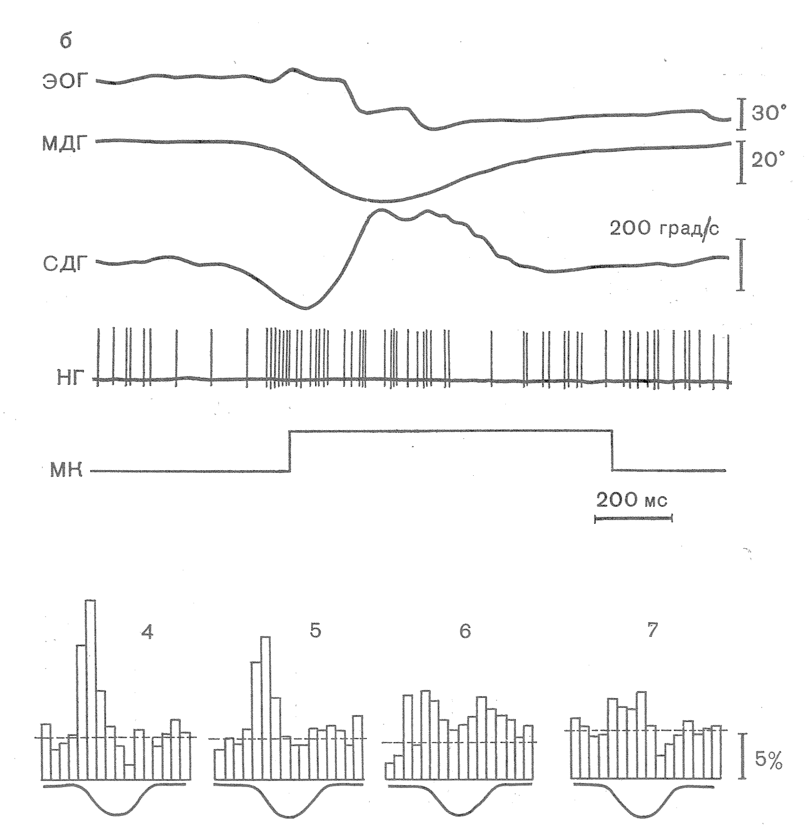


Рис. 17. Регистрация активности отдельных нейронов медиального вестибулярного ядра у обезьяны Верный при движениях головы в горизонтальной плоскости.

а — фрагмент натуральной регистрации; б — фрагмент регистрации с дискриминированной клеточной активностью; в — гистограммы активности клеток медиального вестибулярного ядра в различные дни полета (1—7) при движениях головы в горизонтальной плоскости; ЭОГ — электроокулограмма; МДГ — механограмма движения головы; СДГ — скорость движения головы; НГ — нейрограмма; МК — метка команды.

четливо акцентировано. К 6—7-м суткам реакция нейронов возвращалась к исходной. Торможение активности при движении головы влево в первые часы полета сменялось возбуждением. Однако на 2—3-е сутки тормозная реакция проявлялась вновь и была более выражена, чем в фоне.

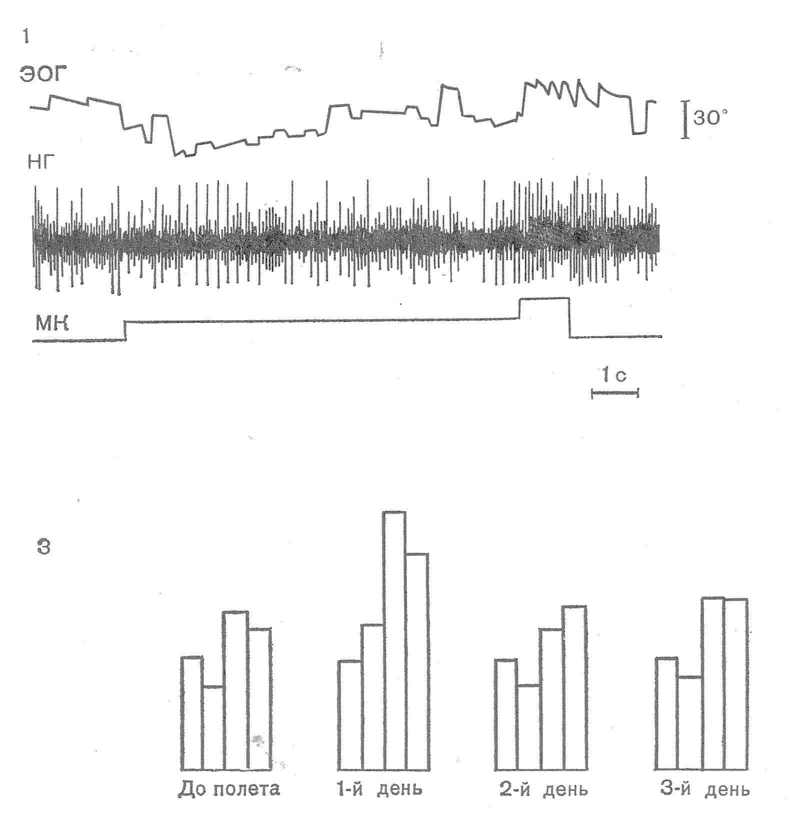
Облегчение нейрональных реакций выявилось в этих опытах и в отолитовых ответах. Контрольные наземные регистрации показали, что популяции нейронов, идентифицированных как каналово-ориентированные, отвечали также на отолитовые возмущения. В первый день полета суммарный нейрональный ответ на возмущение (перемещение кресла) меньшей интенсивности был отчетливо усилен. В последующие дни полета избыточность реакции постепенно уменьшалась и к 7-му дню реакция приблизилась к фоновой. На рис. 18 эта оценка дана для активности одной из клеток вестибулярного ядра.



Таким образом, переход к невесомости сопровождался у обезьян увеличением ответов вестибулярного ядра как на лабиринтную, так и на отолитовую вестибулярную стимуляцию. Эта гиперсенситивность постепенно теряла свою выраженность и к 5—7-м суткам полета параметры динамических ответов нейронов вестибулярных ядер возвращались к исходным.

ДВИГАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ОБЕЗЬЯН В ПОЛЕТЕ

Данные физиологических наблюдений, выполненных в космических полетах, указывают на увеличение времени выполнения двигательных задач, возрастание числа ошибок в реализации произвольных движений, снижение точности произвольно совершаемых усилий [Чхаидзе Л. В., 1968]. Однако при всей ценности выполненных исследований общим их недостатком является отсутствие систематичности и нестандартность сбора информации. Во многих случаях оценки делались по косвенным данным. Кроме того, результаты послеполетных обследований могут искажаться эффектами гравитационных воздействий, наблюдаемыми во время посадки космического корабля. Доля этих «помех» особенно значима при оценке влияния кратковременного



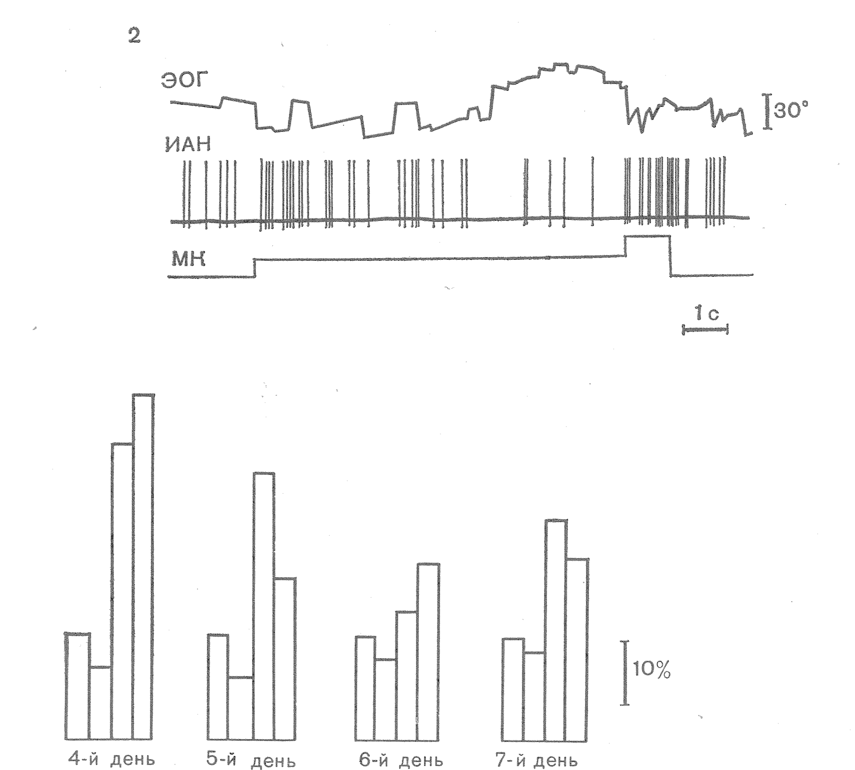


Рис. 18. Регистрация активности отдельных нейронов медиального вестибулярного ядра у обезьяны Верный во время лифтных раздражений.

1 — фрагмент натуральной регистрации; 2 — фрагмент регистрации со стандартизированными импульсами; 3 — гистограммы активности клеток медиального вестибулярного ядра. ИАН — импульс активного нейрона. Остальные обозначения те же, что на рис. 17.

пребывания в невесомости на функционирование двигательной системы.

Мы исследовали характеристику стереотипных движений стопы и электрическую активность мышц голени у обезьян во время полета и провели сравнение их с результатами регистрааций, полученных в наземных условиях.

В настоящем исследовании были следующие особенности: точное воспроизведение условий регистрации в наземных и полетных экспериментах благодаря применению стандартного оборудования; стандартный характер выполнения животными тестовых движений, определяющих их стереотипность; постоянство условий регистрации миограмм благодаря использованию вживленных электродов.

Исследование было проведено на 2 обезьянах (одна обезьяна на биоспутнике «Космос-1514» и одна на биоспутнике «Космос-1667»). Перед полетом обезьян обучили нажимать стопой

на рычаг актографа, перемещая его против действия пружины (движение подошвенного сгибания в голеностопном суставе). В эксперименте на биоспутнике «Космос-1667» обезьяна также обучена удерживать педаль актографа в секторе шириной 15° в течение 3 с. При выполнении трех фазных движений с амплитудой больше заданной и при правильном удержании педали (тоническое напряжение) обезьяны получали порцию сока.

Для регистрации электромиограммы активности мышц (ЭМГ) работающей конечности обезьянам были вживлены электроды в переднюю большеберцовую (m. tibialis anterior), трехглавую (m. triceps surae) мышцы голени и прямую мышцу бедра (m. rectus femori). Каждой из обезьян был поставлен электрод в трехглавой мышце-агонисте при подошвенном сгибании, в эксперименте на биоспутнике «Космос-1514» второй электрод помещали в прямую мышцу бедра, а в эксперименте на биоспутнике «Космос-1667» — в антогонист движения подошвенного сгибания передней большеберцовой мышцы.

В наземных условиях непосредственно перед стартом животные правильно выполняли двигательную задачу. Движения их были ритмичны, рисунок движений стандартен. ЭМГ мышцы-агониста имела пачковый характер с максимумом активности во

время подошвенного сгибания и периодом «молчания» при тыльном сгибании. ЭМГ передней большеберцовой мышцы голени и прямой мышцы бедра во время движения также были разделены на пачки, которые приходились на периоды «молчания» в ЭМГ мышцы-агониста. Активность мышц без движений практически отсутствовала.

В полете рисунок движений претерпевал существенные изменения, в соответствии с чем менялись все определявшиеся в исследовании параметры. Амплитуда движений подошвенного сгибания в 1-й день полета существенно снижалась. У одной из обезьян значения амплитуд продолжали уменьшаться на протяжении 2-го и 3-го дня, а у другой постепенно возрастали. При переходе к невесомости существенно увеличивалась вариабельность движений.

Максимальная скорость движения является характеристикой не только кинематики, но и динамики движения, так как характеризует скорость изменений усилия, прикладываемого к педали. Существенно снижалась и оставалась меньше исходной на протяжении всего полета и по его окончании максимальная скорость движений. Падало также максимальное ускорение движения подошвенного сгибания. Поскольку максимальное ускорение движения непосредственно отражает его динамические характеристики, то снижение его отражает потерю силы мышечного сокращения.

Резко менялась при переходе к невесомости средняя амплитуда электромиограммы: амплитуда ЭМГ мышцы-агониста возрастала, а мышцы-антагониста — уменьшалась. Эти изменения сохранялись и после посадки. ЭМГ прямой мышцы бедра, не принимавшей участия в движении, при переходе к невесомости возрастала (до 50% на 4-й день полета) и приобретала тонический характер. Увеличение амплитуд ЭМГ при снижении амплитуд, скоростей и ускорений движений указывает на снижение сократительной способности мышц.

Удержание педали в заданной угловой зоне также страдало при переходе к невесомости. Число выходов из зоны, как правило, в сторону тыльного сгибания увеличивалось от 3% в 1-й день полета до 77% на 6-й день. Число невыполненных тестов к 6-му дню полета достигало 24%.

На протяжении полета число неудачных попыток как в фазном движении, так и в задаче удержания увеличивалось. Латентное время двигательных ответов на условные сигналы в полете оставалось коротким.

Таким образом, в обоих полетах переход к невесомости сопровождался снижением точностных возможностей систем управления движениями. Это выражалось в увеличении числа ошибок, появлении и постепенном увеличении числа невыполненных тестов. В ходе полета не наблюдалось тенденции к возврату к норме, напротив, изменения, проявившиеся в первые часы пребывания в невесомости, постепенно прогрессировали. Все выявленные в невесомости нарушения сохранялись, хотя и в меньшей мере, и по возвращении на Землю.

Проведенные исследования выявили существенное снижение сократительных свойств мышц, что выражалось уменьшением амплитуд, скоростей и ускорением движений, а также увеличением стоимости движений на ЭМГ, проявившимся повышением амплитуды ЭМГ при уменьшении кинематического выхода.

ГЕМОДИНАМИКА У ОБЕЗЬЯН В НЕВЕСОМОСТИ

Накопленные данные о реакциях сердечно-сосудистой системы в невесомости в целом свидетельствуют об адаптивном характере динамики основных параметров кровообращения [Егоров А. Д., Ицеховский О. Г., 1983]. Вместе с тем отмечаются повышенная вариабельность этих параметров, выраженный индивидуальный характер процесса адаптации кровообращения и сохранение до конца полета ряда неблагоприятных явлений, связанных, предположительно, с особенностями регионарного кровообращения в этих условиях [Касьян И. И., 1983]. Все это свидетельствует о том, что сущность перестройки кровообращения в невесомости, которую мы пытаемся понять на основании измерений отдельных параметров центрального кровообращения, еще не выяснена. Кроме того, исследования влияния невесомости на организм проводятся в условиях, когда ради сохранения здоровья и работоспособности космонавтов процесс адаптации корригируется с помощью профилактических средств, а сами исследования ограничены временем и методическими возможностями.

Типичным симптомом, имеющим место в начале пребывания в невесомости, является чувство тяжести в голове, ее «переполнения». При этом наблюдается различной степени выраженности отек мягких тканей лица и шеи. Полагают, что эти эффекты обусловлены перераспределением жидких сред организма с увеличением тока крови по сосудам, питающим мозг и мягкие ткани головы. Естественно, что наблюдения, полученные на людях, следует дополнить экспериментальной проверкой.

Целью исследований, проводимых на обезьянах в полете, было изучение минутного объема кровообращения, динамики кровотока и артериального давления в общей сонной артерии в начальном периоде адаптации организма к невесомости.

Показатели гемодинамики в полете изучали на 2 обезьянах — Бионе и Гордом.

Для повышения надежности эксперимента и, учитывая результаты патологоанатомического вскрытия обезьяны Бион, погибшей через несколько часов после окончания 8-суточного полета на биоспутнике «Биосателлит-3», у которой были обнаружены свежие и организованные тромбы в легочных артериях и венах [Meehan J. P., Rader R. D., 1971], было решено отказаться от катетеризации сосудов и применить экстравазальные дат-

чики, представляющие собой манжеты, имплантируемые на сосуды [Stone H., Sandler H., 1974]. Аппаратура и датчики [тензодатчик для измерения артериального давления и ультразвуковой допплеровский датчик для измерения линейной скорости кровотока (ЛСК)] были изготовлены американскими специалистами из Эймсского исследовательского центра НАСА. Манжеты имплантировали за 1,5—2 мес до полета. Одновременно имплантировали электроды для регистрации ЭКГ и измерения минутного объема кровообращения с помощью импедансной плетизмографии.

Информацию во время полета и контрольных экспериментов регистрировали на магнитную ленту в течение 5-минутного сеанса через каждые 2 ч.

При измерении исследуемых параметров один раз в 2 ч полученная динамика замеров неизбежно содержит случайную составляющую. Для ее уменьшения и, следовательно, повышения достоверности измерений проводили процедуру симметричного скользящего сглаживания по 3 точкам. Для устранения суточных колебаний использовали симметричное скользящее сглаживание по 12 точкам, т. е. за 24 ч. Такая процедура не дает фазовых искажений колебаний, более медленных, чем суточные [Мармарелис П., Мармарелис В., 1981].

Пребывание Биона в течение 22 ч в ракете на стартовой площадке не явилось для него выраженным стрессорным фактором, ибо как артериальное давление, равное 98,3 мм рт. ст., так и ЧСС, составляющая 94 в 1 мин, почти не отличались от контроля.

Система кровообращения у Биона по сравнению с предстартовым периодом практически не прореагировала на «встречу» с невесомостью: артериальное давление повысилось менее чем на 10%, еще в меньшей степени изменилась ЛСК, замедлившись всего на 4—5% (рис. 19).

Однако первоначальные тенденции в реакции показателей системы кровообращения продолжали нарастать и через несколько часов полета проявились весьма заметными отклонениями от предстартовых значений: артериальное давление возросло на 16—27%, ЛСК понизилась на 28%. К концу первых суток полета прослеживалась тенденция к нормализации изучаемых показателей.

Сопоставление динамики изменений артериального давления в полете и контрольном эксперименте позволяет исключить повышение его у Биона за счет эмоциональной реакции на перемену обстановки.

В начале полета (в течение 8 ч) у Биона параллельно с повышением артериального давления замедлялась ЛСК в общей сонной артерии и выраженно возрастало сопротивление кровотоку сосудистой сети бассейна общей сонной артерии.

В последующие 4 сут полета прослеживалась тенденция к уменьшению среднесуточного значения артериального давления

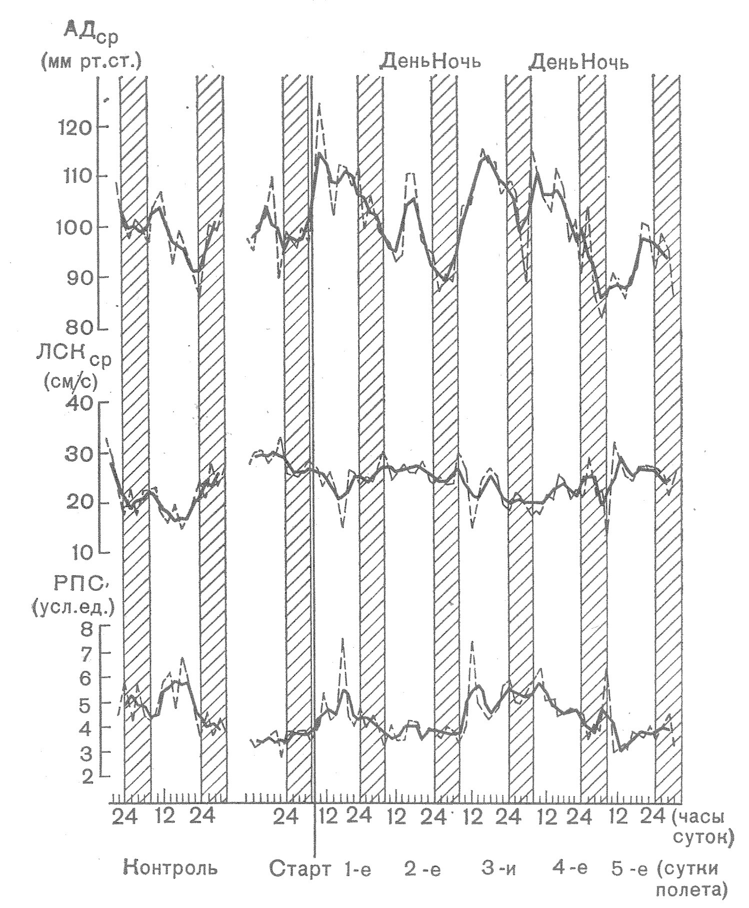


Рис. 19. Динамика изменения артериального давления (АД), линейной скорости кровотока (ЛСК) и регионарного периферического сопротивления (РПС) у обезьяны Бион в контрольном эксперименте и в полете.

По оси ординат — $АД_{ср}$ (мм рт. ст.); $ЛСК_{ср}$ (см/с), РПС (усл. ед.); по оси абсцисс — шкала времени: часы суток и сутки полета.

Заштрихованная область соответствует ночному периоду суток. Пунктиром представлены данные замеров, полученные при первичной обработке материала; сплошной линией показаны те же данные после процедуры симметричного скользящего сглаживания по трем точкам.

при сохранении его четкой суточной периодики: увеличения в дневное время и понижения ночью. Однако обращает на себя внимание тот факт, что пики гипертензии совпадали со временем выполнения инструментальных рефлексов, которые обезьяна в одном случае по техническим причинам, в другом в силу недостаточной тренированности выполнять не могла, а следовательно, не получала сока в качестве вознаграждения. Отсюда нельзя исключить эффекта дополнительного стрессорного воздействия, так как обезьяна могла нервничать, видя партнера, получающего сок, что и вызывало в конечном счете более выраженное по-

вышение артериального давления. В пользу данного предположения может свидетельствовать тот факт, что после того как на 4-е сутки полета обезьяне по команде с Земли дали возможность получить сок и она выпила всю дозу (100 мл), на следующий день полета диапазон колебаний артериального давления значительно уменьшился и впервые отсутствовал его подъем, совпадающий с периодом выполнения инструментальных рефлексов.

В контрольном предполетном эксперименте и в предстартовом периоде практически совпадали значения артериального давления, но существенно различались показатели кровотока. Поэтому при анализе его состояния в полете учитывались оба его значения, причем в первые часы полета мы считали более точным сопоставлять значения ЛСК с периодом, непосредственно предшествующим старту, тогда как динамику кровотока за весь полет, по-видимому, предпочтительно сравнивать с его сдвигами в процессе 1,5-суточного контрольного эксперимента. При таком подходе к анализу материала средний уровень ЛСК в последующие 4 сут полета был выше, чем в контроле.

Иная динамика изучаемых нами показателей кровообращения наблюдалась у Гордого. В полете у него отсутствовали существенные гипо- и гипертензивные реакции как в дневное время, так и ночью, причем диапазон колебаний артериального давления между двумя последовательными замерами не превышал 10 мм рт. ст., это относится к его значениям, зарегистрированным в течение первых часов пребывания обезьяны в невесомости. Что же касается общей направленности изменения артериального давления в полете, то в ней четко прослеживается тенденция к повышению. В результате на 6-е сутки пребывания в невесомости величина среднесуточного артериального давления повысилась почти на 15 мм рт. ст.

В контрольном эксперименте, который проводили спустя месяц после полета, имитация шумового эффекта старта в виде воздействия белого шума интенсивностью 110 дцб в течение 15 мин не привела к существенному изменению артериального давления. Как и в полете, его колебания между двумя последовательными замерами были невелики и не превышали 10 мм рт. ст. В процессе контрольного эксперимента в отличие от полета артериальное давление не возрастало. Суточная периодика его была четко выражена на протяжении всего периода пребывания обезьяны в гермообъеме. Она характеризовалась более низкими величинами в утренние и дневные часы и повышением в вечерне-ночное время, причем ночью на фоне относительного высокого уровня артериального давления диапазон колебаний был незначителен.

Обращает на себя внимание тот факт, что как и в полете, так и в контрольном эксперименте у Гордого в отличие от Биона отсутствовала гипертензивная реакция в сеансах регистрации, предшествующих или проведенных непосредственно после выпол-

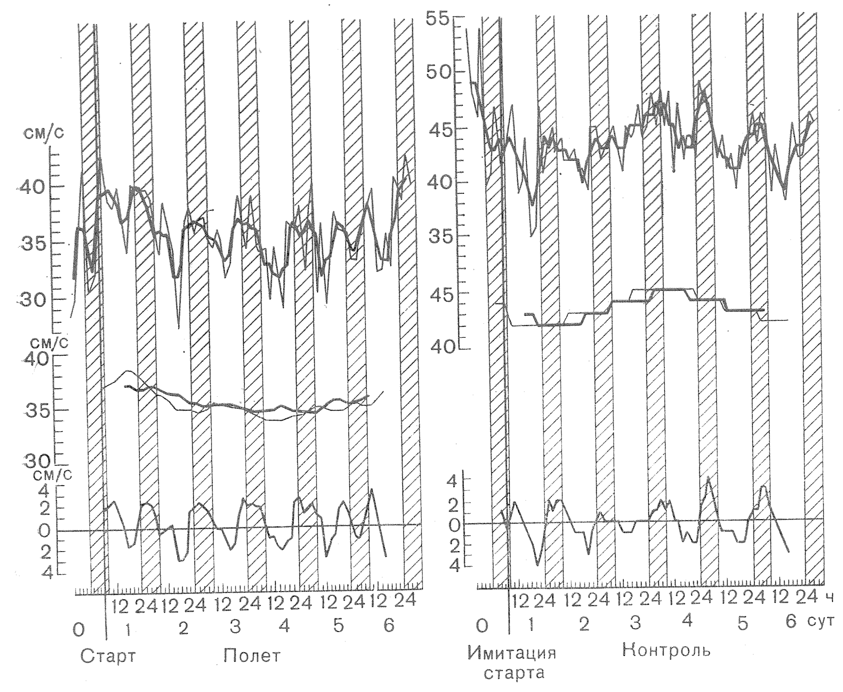


Рис. 20. Динамика линейной скорости кровотока и ее суточная периодика у обезьяны Гордый в полете и в контрольном эксперименте.

По оси абсцисс — шкала времени: часы и сутки; по оси ординат — величина ЛСК (см/с). В верхней части рисунка данные замеров, полученные при первичной обработке материала (тонкая линия) и после процедуры симметричного скользящего сглаживания по трем точкам (толстая линия); в средней части — те же данные после процедуры симметричного скользящего сглаживания по 12 точкам (тонкая линия) и по 23 точкам (толстая линия); в нижней части — суточная периодика. Справа — контрольный эксперимент; слева — полет.

Заштрихованная область соответствует ночному периоду суток.

нения обезьяной инструментальных рефлексов в 8—10 ч утра и в 16—18 ч вечера. ЛСК у Гордого в предстартовом периоде составляла по данным 4 последовательных замеров 29 см/с. Правда, затем ЛСК ускорялась до 42 см/с, но в этот период в объекте повышалась и температура более чем на 4 °С, что, по-видимому, и обусловило увеличение МОК в целом и ЛСК к голове в частности. С понижением температуры на биоспутнике уменьшалась и ЛСК (рис. 20).

В последние 5 ч предстартового периода кровоток в среднем составлял 33,4 см/с, почти не отличаясь от значения на 2—3-е сутки пребывания обезьяны в макете биоспутника за 2 нед до старта.

В первые 30 мин пребывания в невесомости ЛСК возрастала до 44,6 см/с (на 34%), а затем несколько снижалась, оставаясь, однако, выше предстартового уровня. Но уже через сутки среднедневной и средненочной уровни ЛСК превышали всего на 3—9% значения предстартового периода. В последующие

4 сут полета кровоток в среднем колебался в тех же пределах.

В суточной периодике ЛСК прослеживалась четкая закономерность: снижение в ранние вечерние часы (в 16—18 ч) и повышение ночью (исключением были 5-е сутки полета, когда минимальный уровень кровотока был зарегистрирован в полдень, а максимальный — в 20 ч).

В контрольном эксперименте кривая изменения ЛСК имела как схожую с полетом динамику, так и существенные отличия. В обоих экспериментах совпадала направленность суточной периодики: снижение в вечерние часы (18—20 ч) и повышение в ночное время, в то же время отсутствовало повышение кровотока в первые часы после имитированного шума старта корабля. Кроме того, средний уровень кровотока в данном контрольном эксперименте был на 20—35 % выше, чем во время 3-суточного пребывания обезьяны в макете биоспутника до полета и в процессе самого полета.

В первые часы пребывания Гордого в невесомости сопротивление кровотоку сосудистого русла бассейна общей сонной артерии снижалось. В контрольном эксперименте в этот период времени оно не изменялось. Анализ кривых РПС, сглаженных по 12 точкам, что позволило исключить сдвиги, обусловленные суточной периодикой, выявил различия и в их динамике: повышение регионарного сопротивления РПС в первые 4 сут полета с последующей стабилизацией и отсутствие однонаправленных сдвигов в процессе 6-суточного контрольного эксперимента.

О формировании в ходе полета нового уровня нейроэндокринных взаимоотношений для обеспечения оптимальной деятельности сердечно-сосудистой системы в невесомости свидетельствуют данные суточной периодики изучаемых нами показателей кровообращения. С общебиологических позиций циклические процессы в живых системах, к которым относится суточная периодика анализируемых нами показателей, можно рассматривать как адаптивные процессы, направленные на поддержание равновесия организма со средой обитания [Баевский Р. М. и др., 1984]. Поэтому снижение у Биона амплитуды суточных колебаний кровотока, РПС и отношения ЛСК : МОК на 2—3-е сутки полета (рис. 21) может свидетельствовать о перестройке деятельности регуляторных механизмов различных уровней в иерархии управления системой кровообращения. Увеличение в дальнейшем амплитуды суточных колебаний свидетельствует об удовлетворительных адаптационных возможностях организма, однако наличие максимальной амплитуды колебания в последние (5-е) сутки полета не позволяет сделать заключения о завершении приспособления систем организма обезьяны к невесомости.

У Гордого амплитуда суточных колебаний изучаемых показателей гемодинамики была достаточно выражена на протяжении всего полета, что позволяет предположить наличие у этой обезьяны хороших адаптационных возможностей в системе кро-

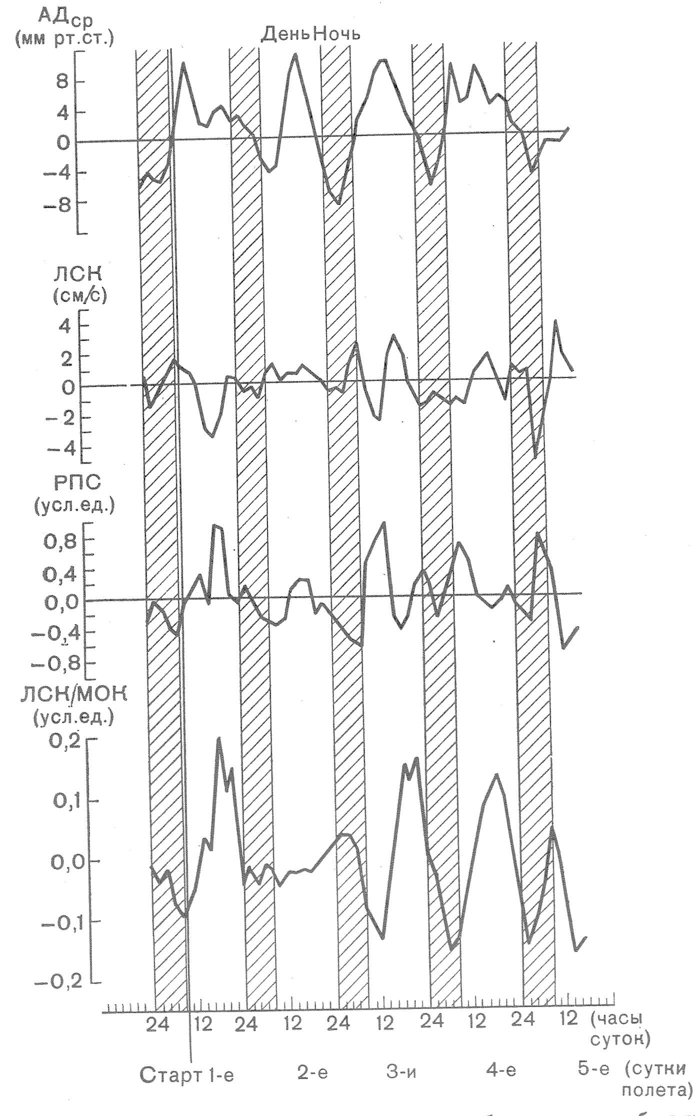


Рис. 21. Суточная периодика показателей кровообращения у обезьяны Бион в полете.

Обозначения те же, что на рис. 19.

вообращения, хотя элементы рассогласования в системе регуляции гемодинамики в условиях полета присутствуют и в данном случае, о чем можно судить по фазовым сдвигам максимальных и минимальных значений соотношения ЛСК : МОК в течение суток. В то время как в контрольном эксперименте максимум и минимум соотношения были весьма стабильны и

приходились на 22 ч и 16 ч соответственно, за исключением первых суток, в полете суточная периодика была более вариабельна.

Полученные данные свидетельствуют о том, что динамика показателей кровообращения, зарегистрированная у обезьян, экспонированных на биоспутниках «Космос-1514» и «Космос-1667», была крайне вариабельна и зачастую носила разнонаправленный характер. В частности, в первые часы пребывания в невесомости у Биона артериальное давление повышалось, ЛСК заметно снижалась, возрастало регионарное периферическое сопротивление, тогда как у Гордого давление практически оставалось неизменным — сдвиги между двухчасовыми интервалами не превышали 10 мм рт. ст., ЛСК, напротив, возрастала, ее повышенный уровень сохранялся в течение первых суток полета, в результате чего регионарное периферическое сопротивление в сосудистом русле общей сонной артерии понижалось.

Общая направленность сдвигов артериального давления и ЛСК у обезьян в полете носила также противоположный характер. По сравнению с контрольным периодом у Биона артериальное давление понижалось, ЛСК оставалась на повышенном уровне, у Гордого прослеживалась четкая направленность к повышению артериального давления, тогда как ЛСК была ниже контрольного уровня на 20—25% (следует, однако, отметить, что у Гордого контрольное исследование было проведено через месяц после полета).

Неоднозначно изменялись у обезьян и показатели, позволяющие судить о степени перестройки регуляторных механизмов системы кровообращения: у Биона на 2—3-и сутки полета значительно снижалаись уровень и амплитуда суточной периодики ЛСК, РПС, отношения ЛСК : МОК; их значения достигали предстартового уровня только на последние (5-е) сутки полета; у Гордого все перечисленные выше показатели оставались неизменными на протяжении всего 6-суточного полета. И лишь сдвиги в первые 3 сут полета фазы максимума и минимума в соотношении ЛСК : МОК позволяют предположить, что в этот период у Гордого имело место рассогласование в механизмах управления системной и регионарной гемодинамики.

Следовательно, сдвиги гемодинамики в начальном периоде адаптации к невесомости существенно отличались между собой по длительности, выраженности, но, самое главное, на наш взгляд, по направленности.

Наличие диаметрально противоположных сдвигов гемодинамики, наблюдаемых у Биона и Гордого в начальном периоде адаптации к невесомости, позволяет усомниться в доминирующей роли непосредственно эффекта перераспределения жидкости в реакциях системы кровообращения, так как в противном случае эти реакции при всей своей индивидуальности были бы все же однонаправленными.

Более вероятно, что отмеченные сдвиги в системе кровообращения являются следствием рассогласования в деятельности различных функциональных систем оргнизма, вызванного как эффектом перераспределения жидких сред, так и изменением характера суммарного афферентного потока.

При таком подходе к анализу полученного материала нам представляется возможным объяснить и причину выраженной перестройки механизмов регуляции гемодинамики у Биона. Обезьяна в первые несколько суток полета была малоподвижна, отказывалась от пищи, во время телесеансов, проводимых в полете, было видно, что она находится в состоянии выраженного дискомфорта, неспецифические проявления которого нашли отражение в указанных выше расстройствах гемодинамики. «Встреча» с невесомостью у Гордого носила более благоприятный характер. Практически с первого предъявления он выполнил инструментальные рефлексы, а пищевая активность была такой же, как на Земле; поэтому при общем благополучии и сдвиги гемодинамики у него были весьма незначительны.

Таким образом, хотелось бы подчеркнуть, что функцию системы кровообращения в невесомости, особенно в начальном периоде пребывания, по-видимому, целесообразно анализировать в первую очередь с учетом межсистемных взаимоотношений. При этом «цена адаптации» той или иной системы может быть определена по выраженности собственных или сопряженных рефлексов в адекватных условиях воздействия, т. е. для выяснения характера адаптации к невесомости тестирующее воздействие должно быть осуществлено в невесомости, а не после возвращения на Землю, когда резко меняется сам характер межсистемных взаимосвязей. Отсюда возникает необходимость адекватного тестирования системы кровообращения в полете, причем большее внимание следует уделять не столько системным ответам на воздействие, сколько реакциям локальным, позволяющим оценить соответствие регионарного кровотока метаболическим запросам органа.

Следует также обратить внимание еще на одно обстоятельство. Суточная периодика регистрируемых нами показателей, в частности артериального давления, была довольно существенной — в пределах 15—25 мм рт. ст., причем по мере адаптации организма к невесомости имели место фазовые сдвиги значений максимума и минимума. Отсюда становится очевидным, что для оценки влияния невесомости на динамику показателей системы кровообращения и, в частности, артериального давления некорректно пользоваться данными единичных замеров, даже проводимых в одно и то же время суток.

Таким образом, сопоставление выраженности изменений показателей гемодинамики, ее суточной периодики с самочувствием животного, уровнем пищевой мотивации, эффективностью выполнения программ инструментальных рефлексов свидетельствует о том, что в начальном периоде адаптации к невесомости

ее непосредственное влияние (как физического фактора, вызывающего перемещение жидких сред организма в краниальном направлении и тем самым предполагающего увеличение притока крови к голове) на гемодинамическую компоненту системы кровообращения выражено в меньшей степени, чем опосредованное, обусловленное рассогласованием в деятельности различных функциональных систем и возникновением их новой координации. Этим, по-видимому, объясняется отсутствие зависимости между величиной кровотока в общей сонной артерии, кровоснабжающей головной мозг и мягкие ткани головы, и отеком последних: в условиях пониженного кровотока наблюдались выраженный отек в области лица и шеи у Биона и его отсутствие у Гордого, несмотря на существенное повышение кровотока в первые сутки полета. Очевидно, пастозность и отек лица и шеи, наблюдаемые у космонавтов в начальном периоде пребывания в невесомости, определяются не столько величиной притока крови к голове, сколько состоянием регуляции кровообращения на микроциркуляторном уровне.

* *
*

Изучение состояния вестибулярной функции и механизмов вестибулярно-зрительного и вестибулярно-моторного взаимодействия в невесомости показало в противовес господствующим представлениям о снижении возбудимости вестибулярного аппарата в условиях пониженной весомости, что возбудимость канальцевой части системы в невесомости значительно повышается. При этом были выявлены и оценены количественно нарушения следящей функции глаз, связанные с изменениями в системе вестибулярно-глазодвигательного взаимодействия, определены закономерности процесса адаптации, обеспечивающей нормализацию деятельности центральных систем управления и состояния животного к 3—5-м суткам полета.

Проведенные исследования выявили различной степени выраженности изменения гемодинамики. Впервые в полете прослежена динамика количественных сдвигов кровотока, питающего мозг и мягкие ткани головы. При этом не обнаружена зависимость между уровнем кровотока в сонной артерии и выраженностью отека лица и шеи у обезьяны. Сопоставление выраженности изменений показателей гемодинамики с самочувствием животного, уровнем пищевой мотивации, эффективностью выполнения программ инструментальных рефлексов свидетельствует о том, что непосредственное влияние невесомости на гемодинамическую компоненту системы кровообращения в результате перемещения циркулирующей крови в краниальном направлении выражено в меньшей степени, чем опосредованное путем изменения характера межсистемных взаимоотношений.

Приложения

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛЕТАХ СОВЕТСКИХ КОСМОНАВТОВ

№ п/п	Дата запуска	Экипаж (в групповых первым указан командир космического корабля)	Наименование корабля (в скобках указан корабль возвращения)	Продолжительность полета
1	12.04.1961	Ю. А. Гагарин	«Восток»	1 ч 48 мин
2	06.08.1961	Г. С. Титов	«Восток-2»	1 сут 01 ч 18 мин
3	11.08.1962	А. Г. Николаев	«Восток-3»	3 сут 22 ч 22 мин
4	12.08.1962	П. Р. Попович	«Восток-4»	2 сут 22 ч 57 мин
5	14.06.1963	В. Ф. Быковский	«Восток-5»	4 сут 23 ч 06 мин
6	16.06.1963	В. В. Терешкова	«Восток-6»	2 сут 22 ч 50 мин
7	12.10.1964	В. М. Комаров К. П. Феоктистов Б. Б. Егоров	«Восход»	1 сут 00 ч 17 мин
8	18.03.1965	П. И. Беляев А. А. Леонов	«Восход-2»	1 сут 02 ч 02 мин
9	23.04.1967	В. М. Комаров	«Союз-1»	1 сут 02 ч 48 мин
10	26.10.1968	Г. Т. Береговой	«Союз-3»	3 сут 22 ч 51 мин
11	14.01.1969	В. А. Шаталов	«Союз-4»	2 сут 23 ч 21 мин
12	15.01.1969	Б. В. Волынов А. С. Елисеев Е. В. Хрунов	«Союз-5»	3 сут 00 ч 54 мин
13	11.10.1969	Г. С. Шонин В. Н. Кубасов	«Союз-6»	4 сут 22 ч 43 мин
14	12.10.1969	А. В. Филипченко В. Н. Волков В. В. Горбатко	«Союз-7»	4 сут 22 ч 40 мин
15	13.10.1969	В. А. Шаталов А. С. Елисеев	«Союз-8»	4 сут 22 ч 51 мин
16	01.06.1971	А. Г. Николаев В. И. Севастьянов	«Союз-9»	17 сут 16 ч 59 мин
17	23.04.1971	В. А. Шаталов А. С. Елисеев Н. Н. Рукавишников	«Союз-10»	1 сут 23 ч 46 мин
18	06.06.1971	Г. Т. Добровольский В. Н. Волков В. И. Пацаев	«Союз-11»	23 сут 18 ч 22 мин (экипаж ОС «Салют»)
19	27.09.1973	В. Г. Лазарев О. Г. Макаров	«Союз-12»	1 сут 23 ч 16 мин
20	18.12.1973	П. И. Климук В. В. Лебедев	«Союз-13»	7 сут 20 ч 56 мин
21	03.07.1974	П. Р. Попович Ю. П. Артюхин	«Союз-14»	15 сут 17 ч 30 мин (экипаж ОС «Салют-3»)
22	26.08.1974	Г. В. Сарафанов Л. С. Демин	«Союз-15»	2 сут 00 ч 12 мин
23	02.12.1974	А. В. Филипченко Н. Н. Рукавишников	«Союз-16»	5 сут 22 ч 24 мин
24	11.01.1975	А. А. Губарев Г. М. Гречко	«Союз-17»	29 сут 13 ч 20 мин (1-я экспедиция на ОС «Салют-4»)
25	05.06.1975	В. Г. Лазарев О. Г. Макаров	«Союз-18-1»	22 мин (суборбитальный полет)

№ п/п	Дата запуска	Экипаж (в групповых первым указан командир космического корабля)	Наименование корабля (в скобках указан корабль возвращения)	Продолжительность полета
26	24.05.1975	П. И. Климук В. И. Севастьянов	«Союз-18»	62 сут 23 ч 20 мин (2-я экспедиция на ОС «Салют-4»)
27	15.07.1975	А. А. Леонов В. Н. Кубасов	«Союз-19»	5 сут 22 ч 31 мин («Союз» — «Аполлон»)
28	06.07.1976	Б. В. Волынов В. М. Жолобов	«Союз-21»	49 сут 06 ч 23 мин (1-я экспедиция на ОС «Салют-5»)
29	15.09.1976	В. Ф. Быковский В. В. Аксенов	«Союз-22»	7 сут 21 ч 52 мин
30	14.10.1976	В. Д. Зудов В. И. Рождественский	«Союз-23»	2 сут 00 ч 07 мин
31	07.02.1977	В. В. Горбатко Ю. Н. Глазов	«Союз-24»	17 сут 17 ч 26 мин (2-я экспедиция на ОС «Салют-5»)
32	09.10.1977	В. В. Коваленок В. В. Рюмин	«Союз-25»	2 сут 00 ч 45 мин
33	10.12.1977	Ю. В. Романенко Г. М. Гречко	«Союз-26» («Союз-27»)	96 сут 10 ч (ОЭ-1 на ОС «Салют-6»)
34	10.01.1978	В. А. Джанибеков О. Г. Макаров	«Союз-27» («Союз-26»)	5 сут 22 ч 59 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
35	02.03.1978	А. А. Губарев В. Ремек (ЧССР)	«Союз-28»	7 сут 22 ч 16 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
36	15.06.1978	В. В. Коваленок А. С. Иванченков	«Союз-29» («Союз-31»)	139 сут 14 ч 48 мин (ОЭ-2 на ОС «Салют-6»)
37	27.06.1978	П. И. Климук М. Гермашевский (ПНР)	«Союз-30»	7 сут 22 ч 03 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
38	26.08.1978	В. Ф. Быковский З. Йен (ГДР)	«Союз-31» («Союз-29»)	7 сут 20 ч 49 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
39	25.02.1979	В. А. Ляхов В. В. Рюмин	«Союз-32» («Союз-34»)	175 сут 00 ч 36 мин (ОЭ-3 на ОС «Салют-6»)
40	10.04.1979	Н. Н. Рукавишников Г. Иванов (НРБ)	«Союз-33»	1 сут 23 ч 01 мин
41	09.04.1980	Л. И. Попов В. В. Рюмин	«Союз-35» («Союз-37»)	184 сут 20 ч 12 мин (ОЭ-4 на ОС «Салют-6»)
42	26.05.1980	В. Н. Кубасов Б. Фаркаш (ВНР)	«Союз-36» («Союз-35»)	7 сут 20 ч 46 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
43	05.06.1980	Ю. В. Малышев В. В. Аксенов	«Союз-Т-2»	3 сут 22 ч 19 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
44	23.07.1980	В. В. Горбатко Фам Туан (ДРВ)	«Союз-37» («Союз-36»)	7 сут 20 ч 42 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)

№ п/п	Дата запуска	Экипаж (в групповых первым указан командир космического корабля)	Наименование корабля (в скобках указан корабль возвращения)	Продолжительность полета
45	18.09.1980	Ю. В. Романенко А. Тамайо Мендес (Куба)	(«Союз-38»)	7 сут 20 ч 43 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
46	21.09.1980	Л. Д. Кизим О. Г. Макаров Г. М. Стрекалов	«Союз-Т-3»	12 сут 19 ч 08 мин (ЭП на ОС «Салют-6»)
47	12.03.1981	В. В. Коваленок В. П. Савиных	«Союз-Т-4»	75 сут (ОЭ-5 на ОС «Салют-6»)
48	22.03.1981	В. А. Джанибеков Ж. Гуррагча (МНР)	«Союз-39»	7 сут (ЭП на ОС «Салют-6»,
49	14.05.1981	Л. И. Попов Д. Прунариу (СРР)	«Союз-40»	7 сут (ЭП на ОС «Салют-6»)
50	13.05.1982	А. Н. Березовой В. В. Лебедев	«Союз-Т-6»	Свыше 200 сут (ОЭ-1 на ОС «Салют-7»)
51	24.06.1982	В. А. Джанибеков А. С. Иванченков Жан-Лу Кретьен (Франция)	«Союз-Т-6»	7 сут 21 ч (ЭП на ОС «Салют-7»)
52	19.08.1982	Л. И. Попов А. А. Серебров С. Е. Савицкая	Союз-Т-7» («Союз-Т-5»)	7 сут 21 ч (ЭП на ОС «Салют-7»)
53	20.04.1983	В. Г. Титов Г. М. Стрекалов А. А. Серебров	«Союз-Т-8»	2 сут 00 ч 18 мин Стыковка не состоялась
54	27.06.1983	В. А. Ляхов А. П. Александров	«Союз-Т-9»	149 сут 10 ч 46 мин (ОЭ-2 на ОС «Салют-7»)
55	08.02.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев О. Ю. Атьков	«Союз-Т-10» («Союз-Т-11»)	236 сут 22 ч 50 мин (ОЭ-3 на ОС «Салют-7»)
56	03.04.1984	Ю. В. Малышев Г. С. Стрекалов Р. Шарма (Индия)	«Союз Т-11» («Союз Т-10»)	7 сут 21 ч 41 мин (ЭП на ОС «Салют-7»)
57	18.07.1984	В. А. Джанибеков С. Е. Савицкая И. П. Волк	«Союз Т-12»	11 сут 19 ч 14 мин (ЭП на ОС «Салют-7»)
58	06.06.1985	В. А. Джанибеков В. П. Савиных	«Союз Т-13»	113 сут 168 сут (ОЭ-4 на ОС «Салют-7»)
59	17.09.1985	В. В. Васютин Г. М. Гречко А. А. Волков	«Союз Т-14»	65 сут 8 сут 21 ч (ОЭ-5 на ОС «Салют-7»)
60	13.03.1986	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Союз Т-15»	125 сут 1 ч (ОЭ-1 на ОС «Мир», ОЭ-6 на ОС «Салют-7»)
61	06.02.1987	Ю. В. Романенко А. И. Лавейкин	«Союз ТМ-2» («Союз ТМ-3»)	326 сут 11 ч 38 мин (ОЭ-2 на ОС «Мир»)
62	22.07.1987	А. С. Викторенко А. П. Александров М. Фарис (Сирия)	«Союз ТМ-3» («Союз ТМ-2»)	7 сут 23 ч 160 сут 6 ч (ЭП на ОС «Мир»)

№ п/п	Дата запуска	Экипаж (в групповых первым указан командир космического корабля)	Наименование корабля (в скобках указан корабль возвращения)	Продолжительность полета
63	21.12.1987	В. Г. Титов М. Х. Манаров А. С. Левченко	«Союз ТМ-4»	365 сут 22 ч (ЭО-3 на ОС «Мир») 7 сут 21 ч
64	07.06.1988	Соловьев А. Я. Савиных В. П. Александров Александр (Болгария)	«Союз ТМ-5»	9 сут 20 ч 10 мин (ЭП на ОС «Мир»)
65	29.08.1988	Ляхов В. А. Поляков В. В. Абдул Ахад Моманд (Афганистан)	«Союз ТМ-6»	8 сут 20 ч 27 мин 240 сут 22 ч 35 мин (ЭП на ОС «Мир») (В. В. Поляков остался в основном экипаже ЭО-4)
66	26.11.1988	Волков А. А. Крикалев С. К. Жан-Лу Кретьен (Франция)	«Союз ТМ-7»	151 сут 12 ч 8 мин (ЭП на ОС «Мир») 24 сут 18 ч 7 мин

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ КОСМОНАВТОВ ВНЕ КОРАБЛЯ

№ п/п	Дата	Экипаж	Наименование корабля	Продолжительность работы вне корабля
1	18.03.1965	А. А. Леонов	«Восход-2»	12 мин
2	16.01.1969	Е. В. Хрунов А. С. Елисеев	«Союз-5-4»	37 мин
3	20.12.1977	Ю. В. Романенко Г. М. Гречко	«Салют-6»	1 ч 28 мин
4	29.07.1978	В. В. Коваленок А. С. Иванченков	«Салют-6»	2 ч 06 мин
5	15.08.1979	В. А. Ляхов В. В. Рюмин	«Салют-6»	1 ч 23 мин
6	30.07.1982	А. Н. Березовой В. В. Лебедев	«Салют-7»	2 ч 33 мин
7	01.11.1983	В. А. Ляхов А. П. Александров	«Салют-7»	2 ч 50 мин
8	03.11.1983	В. А. Ляхов А. П. Александров	«Салют-7»	2 ч 55 мин
9	23.04.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	4 ч 15 мин
10	26.04.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	5 ч
11	29.04.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	2 ч 45 мин
12	04.05.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	2 ч 45 мин
13	18—19.05.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	3 ч 05 мин

№ п/п	Дата	Экипаж	Наименование корабля	Продолжительность работы вне корабля
14	25.07.1984	В. А. Джанибеков С. Е. Савицкая	«Салют-7»	3 ч 35 мин
15	08.08.1984	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	5 ч
16	02.08.1985	В. А. Джанибеков В. П. Савиных	«Салют-7»	5 ч
17	28.05.1985	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	3 ч 50 мин
18	31.05.1986	Л. Д. Кизим В. А. Соловьев	«Салют-7»	5 ч
19	11—12.04.1987	Ю. В. Романенко А. И. Лавейкин	«Мир»	3 ч 35 мин
20	12.06.1987	Ю. В. Романенко А. И. Лавейкин	«Мир»	1 ч 53 мин
21	16.06.1987	Ю. В. Романенко А. И. Лавейкин	«Мир»	3 ч 15 мин
22	26.02.1988	В. Г. Титов М. Х. Манаров	«Мир»	4 ч 25 мин
23	30.06.1988	В. Г. Титов М. Х. Манаров	«Мир»	5 ч 10 мин
24	20.10.1988	В. Г. Титов М. Х. Манаров	«Мир»	4 ч 12 мин
25	09.12.1988	А. А. Волков Жан-Лу Кретьен (Франция)	«Мир»	6 ч

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов И. П., Северин Г. И., Стоклицкий А. Ю. и др. Скафандры и системы для работы в открытом космосе. — М.: Машиностроение, 1984. — 256 с.

Айзиков Г. С., Крикун И. С., Устюшин Б. В. Влияние зрительных и проприоцептивных раздражений на выраженность вегетативных расстройств при действии механических синусоидальных колебаний//Влияние вибраций на организм человека. — М., 1977. — С. 241—246.

Алексеев С. М., Уманский С. П. Высотные и космические скафандры. — М.: Машиностроение, 1983. — 278 с.

Андреев Л. Б., Андреева Н. Б. Кинетокардиография. — Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та, 1981. — 307 с.

Анохин П. К. Проблема принятия решения в психологии и физиологии//Проблемы принятия решения. — М., 1976. — С. 7—16.

Аринчин Н. И., Недвецкая Г. Д., Володько Я. Т. и др. Внутримышечные периферические «сердца» и гипокинезия. — Минск: Наука и техника, 1983.

Асямолов Б. Ф., Панченко В. С., Карпушева В. А. и др. Некоторые реакции организма человека в условиях семисуточной антиортостатической гипокинезии//Косм. биол. — 1986. — № 1. — С. 29—32.

Баевский Р. М., Барсукова Б. В., Тазетдинов И. Г. Кибернетический анализ сердечного ритма при пробе с дозированной физической нагрузкой у членов экипажей орбитальной станции «Салют-6»//Кардиология. — 1981. — № 11. — С. 100—104.

Баевский Р. М., Никулина Г. А., Тазетдинов И. Г. Математический анализ ритма сердца в оценке особенностей адаптации организма к условиям космического полета//Вестн. АМН СССР. — 1984. — № 4. — С. 62—69.

Балаховский И. С., Легеньков В. И., Киселев Р. К. Изменение массы гемоглобина при космических полетах и их моделировании//Косм. биол. — 1980. — № 6. — С. 14—20.

Балаховский И. С., Легеньков В. И., Киселев Р. К. Изменение массы гемоглобина при космических полетах и их моделировании//Косм.биол. — 1980. — № 6. — С.14—20.

Брянов И И., Емельянов М. Д., Матвеев А. Д. и др. Особенности статокинетических реакций//Космические полеты на кораблях «Союз»/Под ред. О. Г. Газенко и др. — М., 1976. — С. 195—229.

Брянов И. И., Горгиладзе Г. И., Корнилова Л. Н. и др. Вестибулярная функция//Результаты медицинских исследований, выполненных на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6» — «Союз»/Под ред. О. Г. Газенко. — М., 1986. — С. 169—185, 248—257.

Бычков В. П. Питание космонавтов в длительных полетах//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 143—150.

Васильева Т. Д., Высоцкая В. Р., Гевлич Г. И. Регионарное кровообращение при тестировании на изокинетическом динамометре после 14-суточного постельного режима//Косм. биол. — 1984. — № 5. — С. 26—30.

Владимиров Ю. А., Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. — М.: Наука, 1972. — 252 с.

Воробьев Е. И., Газенко О. Г., Генин А. М. и др. Результаты медицинских исследований при проведении длительных пилотируемых полетов по программе «Салют-6»//Косм. биол. — 1984. — № 1. — С. 14—29.

Воробьев О. И., Газенко О. Г., Шульженко Е. Б. и др. Предварительные результаты медицинских исследований в 5-месячном космическом полете на орбитальном комплексе «Салют-7» — «Союз-Т»//Косм. биол. — 1984. — № 2. — С. 27—39.

Гаврилин В. К., Захарова Л. Н. Вестибулярная функция лиц старшего возраста при воздействии 30-суточной антиортостатической гипокинезии//Косм. биол. — 1985. — № 6. — С. 15—20.

Газенко О. Г. Человек в космосе//Косм. биол. — 1984. — № 1. — С. 3—8.

Газенко О. Г., Егоров А. Д. Вторая экспедиция орбитальной станции «Салют-4». Некоторые итоги и задачи медицинских исследований//Вестн. АН СССР. — 1976. — № 4. — С. 5—36.

Газенко О. Г., Чернух А. М., Федоров Б. М. Микроциркуляция в условиях длительной антиортостатической гипокинезии//О проблемах микроциркуляции. — М., 1977. — С. 32—35.

Газенко О. Г., Прохончуков А. А., Паникаровский В. В. и др. Состояние микроскопической и кристаллической структур, микротвердости и минеральной насыщенности костной ткани человека после длительного космического полета//Косм. биол. — 1977. — № 3. — С. 11—19.

Газенко О. Г., Шульженко Е. Б. Физиологические эффекты измененной гравитации//Успехи физиол. наук. — 1978. — № 2. — С. 8—20.

Газенко О. Г., Григорьев А. И., Дегтярев В. А. и др. Воздействие на водно-солевой обмен как способ профилактики ортостатической неустойчивости у членов экипажа 2-й экспедиции станции «Салют-4»//Косм. биол. — 1979. — № 3. — С. 10—15.

Газенко О. Г., Григорьев А. И., Наточин Ю. В. Водно-солевой гомеостаз и невесомость//Косм. биол. — 1980. — № 5. — С. 3—10.

Газенко О. Г., Егоров А. Д. 175-суточный космический полет. Некоторые результаты медицинских исследований//Вестн. АН СССР. — 1980. — № 9. — С. 49—58.

Газенко О. Г., Ильин Е. А., Оганов В. С. и др. Эксперименты с животными на биоспутниках серии «Космос» (итоги и перспективы)//Косм. биол. — 1981. — № 2. — С. 60—66.

Газенко О. Г., Парфенов Г. Н. Космическая биология в третьем десятилетии//Косм. биол. — 1982. — № 2. — С. 4—10.

Газенко О. Г., Григорьев А. И. Водно-солевой гомеостаз и невесомость//Физиологические исследования в невесомости/Под ред. П. В. Симонова и И. И. Касьяна. — М., 1983. — С. 178—186.

Газенко О. Г., Егоров А. Д. Медицинские исследования на орбитальной станции «Салют-4» и проблемы влияния невесомости на организм человека//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 20—32.

Газенко О. Г., Егоров А. Д. Гомеостатическая регуляция и адаптация в длительных космических полетах//Физиологические проблемы адаптации/Под ред. А. А. Виру и Н. А. Агаджаняна. — Тарту, 1984. — С. 19—27.

Газенко О. Г., Григорьев А. И., Наточин Ю. В. Водно-солевой обмен, гомеостаз и космический полет. — М.: Наука, 1986. — 236 с.

Гарт О. Функция почек//Физиология человека. — М.: Мир, 1986. — Т. 4. — С. 145—198.

Горгиладзе Г. И., Самарин Г. И., Брянов И. И. Межлабиринтная асимметрия, вестибулярная дисфункция и космическая болезнь движения//Косм. биол. — 1986. — № 3. — С. 19—31.

Григорьев А. И. Влияние условий космического полета и длительной гипокинезии на деятельность почек человека//Физиол. журн. СССР. — 1972. — № 6. — С. 828—835.

Григорьев А. И., Козыревская Г. И., Наточин Ю. В. и др. Обменно-эндокринные процессы//Космические полеты на кораблях «Союз»/Под ред. О. Г. Газенко, Л. И. Какурина, А. Г. Кузнецова. — М., 1976. — С. 266—303.

Григорьев А. И., Дорохова Б. Р., Козыревская Г. И. и др. Водно-солевой обмен и функциональное состояние почек при постельном режиме различной продолжительности//Физиол. человека. — 1979. — № 4. — С. 660—669.

Григорьев А. И., Моруков Б. В., Дорохова Б. Р. и др. Регуляция обмена кальция в условиях длительной антиортостатической гипокинезии//Физиол. человека. — 1981. — № 4. — С. 705—709.

Григорьев А. И., Дорохова Б. Р., Арзамазов Г. С. и др. Ионорегулирующая функция почек у человека при длительных космических полетах и в модельных исследованиях//Косм. биол. — 1982. — № 1. — С. 29—33.

Григорьев А. И., Атьков О. Ю., Егоров А. Д. и др. Предварительные резуль-

таты некоторых медицинских исследований во время 237-суточного полета третьей основной экспедиции на орбитальном комплексе «Салют-7» — «Союз-Т»//Гагаринские чтения, 15-е. Секция «Проблемы авиакосмической медицины и психологии». — М., 1985. — С. 6—35.
Грюссер О. Зрение и движение глаз//Физиология человека. — М.: Мир, 1985. — Т. 2. — С. 151—473.
Гуровский Н. Н., Егоров А. Д. Некоторые проблемы космической медицины//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 7—20.
Дегтярев В. А., Нехаев А. С., Бедненко В. С. и др. Исследование венозного кровообращения у экипажей орбитальной станции «Салют-5»//Косм. биол. — 1979. — № 4. — С. 8—12.
Дегтярев В. А., Дорошев В. Г., Михайлов В. М. и др. Состояние кровообращения в покое у членов первой основной экспедиции «Салют-6»//Косм. биол. — 1980. — № 2. — С. 11—14.
Дегтярев В. А., Дорошев В. Г., Лапшина Н. А. и др. Гемодинамика и фазовая структура сердечного цикла у членов первого экипажа «Салют-5» в условиях покоя//Косм. биол. — 1980. — № 3. — С. 18—21.
Дегтярев В. А., Дорошев В. Г., Кириллова З. А. и др. Реакция членов экипажа орбитальной станции «Салют-5» на пробу с ОДНТ//Косм. биол. — 1980. — № 4. — С. 11—16.
Джонсон П. Периферическое кровообращение: Пер. с англ. — М.: Медицина, 1982. — 440 с.
Дорошев В. Г., Попов Н. Н., Катунцев В. П. и др. Сравнение прямых и косвенных методов определения сердечного выброса крови//Косм. биол. — 1981. — № 4. — С. 7—9.
Егоров Б. Б., Самарин Г. И. Возможное изменение парной работы вестибулярного аппарата в условиях невесомости//Косм. биол. — 1976. — № 2. — С. 85—86.
Егоров А. Д., Касьян И. И., Златорунский А. А. и др. Изменение массы тела у космонавтов в 140-суточном космическом полете//Косм. биол. — 1981. — № 1. — С. 34—36.
Егоров А. Д., Ицеховский Ѳ. Г., Турчанинова В. Ф. и др. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в условиях длительных орбитальных полетов на станции «Салют-6»//Вестн. АМН СССР. — 1984. — № 4. — С. 55—62.
Елизаров Н. А., Битар С., Алиева Г. Э., Цветков А. А. и др. Изучение регионарного кровообращения с помощью импедансного метода//Тер. арх. — 1981. — № 12. — С. 16—22.
Жизневская О. В., Медкова И. Л. Исследование спектра желчных кислот в условиях 120-суточной антиортостатической гипокинезии у человека//Косм. биол. — 1985. — № 2. — С. 33—35.
Ильин Е. А. Исследования на биоспутниках «Космос»//Косм. биол. — 1984. — № 1. — С. 65—66.
Каасик А.-Э. А. О гуморальном механизме регулирования мозгового кровообращения при изменениях газового состава крови//Регуляция мозгового кровообращения. — Тбилиси, 1980. — С. 61—65.
Калиниченко В. В., Жернавков А. Ф. Постуральные реакции у космонавтов после полетов на орбитальной станции «Салют-6»//Косм. биол. — 1984. — № 5. — С. 7—10.
Капланский А. С., Савина Е. А., Казакова П. Б. и др. Антиортостатическая гипокинезия у обезьян: морфологическое исследование//Косм. биол. — 1985. — № 2. — С. 53—60.
Касьян И. И. Изменение некоторых физиологических показателей во время кратковременного и длительного пребывания человека в невесомости//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 51—72.
Касьян И. И. Адаптация организма к невесомости//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 32—50.
Касьян И. И., Вайнштейн Г. Б., Семерня В. Н. Особенности мозгового кровообращения у космонавтов в покое и во время выполнения функциональных проб на орбитальной станции «Салют-4»//Физиологические исследования в невесомости. — М.: Медицина, 1983, с. 73—82.

Коваленко Е. А., Гуровский Н. Н. Гипокинезия. — М.: Медицина, 1980.
Коваленко Е. А., Касьян И. И. О некоторых теоретических аспектах патогенеза и профилактики невесомости//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 229—256.
Коваленко Е. А., Вацек А., Хаазе Г. и др. О функциональной системе транспорта кислорода//Совещание социалистических стран по космической биологии и медицине, 19-е. — М., 1986. — С. 32—34.
Константинова И. В., Антропова Е. Н., Рыкова М. П. и др. Клеточный и гуморальный иммунитет у космонавтов при действии факторов космического полета//Вестн. АМН СССР. — 1985. — № 8. — С. 51—58.
Крупина Т. Н., Тизул А. Я., Кузьмин М. П. и др. Клинико-физиологические изменения в организме человека при длительной антиортостатической гипокинезии//Косм. биол. — 1982. — № 2. — С. 29—34.
Кузнец Е. И., Бекренева Л. Н., Пружинина Т. И. и др. Применение метода заушной термометрии для контроля за тепловым состоянием человека, работающего в изолирующих средствах защиты//Физиология экстремальных состояний и индивидуальная защита человека. — М., 1982. — С. 112.
Лапаев Э. В., Воробьев О. А. Проблема вестибулярной физиологии в авиакосмической медицине и перспективы ее решения//Космическая биология и авиакосмическая медицина. — М.: Наука, 1986. — С. 85—88.
Лычаков Д. В., Лаврова Е. А. Исследование структуры вестибулярного аппарата и ионного состава тела личинок шпорцевой лягушки после пребывания в условиях невесомости//Косм. биол., 1985. — № 3. — С. 48—52.
Маилян Э. С., Коваленко Е. А., Буравкова Л. Б. Некоторые итоги изучения биоэнергетики мышц в невесомости//Пат. физиол. — 1985. — № 5. — С. 69—73.
Макаров В. И. Режим труда и отдыха в длительных космических полетах//Физиологические исследования в невесомости/Под ред. П. В. Симонова, И. И. Касьяна. — М., 1983. — С. 187—200.
Мармарелис П., Мармарелис В. Анализ физиологических систем: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 406 с.
Меерсон Ф. З. Адаптация, стресс и профилактика. — М.: Наука, 1981.
Москаленко Ю. Е., Вайнштейн Г. Б., Касьян И. И. Внутричерепное кровообращение в условиях перегрузок и невесомости. — М.: Медицина, 1971.
Немет Ш., Тигранян Р. А. Влияние космического полета на биоспутнике «Космос-1129» на активность ряда ферментов в печени крыс//Косм. биол. — 1983. — № 4. — С. 33—34.
Носков В. Б., Козыревская Г. И., Моруков Б. В. и др. Положение тела человека при гипокинезии и водно-солевой обмен//Косм. биол. — 1985. — № 5. — С. 31—34.
Носков В. Б., Афонин Б. В., Лебедев В. И., Кветнянски Р. Водно-солевой обмен и его гормональная регуляция в условиях длительного космического полета//Космическая биология и авиакосмическая медицина. — М., 1986. — С. 354—355.
Оганов В. С., Скуратов С. А., Ширвинская М. А. Влияние полета на биоспутнике «Космос-936» на сократительные свойства мышечных волокон крыс//Косм. биол. — 1981. — № 4. — С. 58—61.
Осадчий Л. И. Положение тела и регуляция кровообращения. — Л.: Наука, 1982. — 145 с.
Парин В. В., Меерсон Ф. З. Очерки клинической физиологии кровообращения. — М.: Медицина, 1965. — 500 с.
Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г. Космическая кардиология. — Л.: Медицина, 1967. — 195 с.
Португалов В. В. Еще раз о механизмах развития гистологических и цитохимических изменений у млекопитающих (крыс) в орбитальных полетах//Арх. анат. — 1978. — № 9. — С. 23—30.
Постнов А. Ю. Предсердный натрийуретический фактор (морфология и некоторые физиологические характеристики новой системы регуляции водно-солевого гомеостаза)//Арх. пат. — 1987. — № 3. — С. 86—90.
Рудный Н. М., Газенко О. Г., Гозулов С. А. и др. Основные результаты меди-

цинских исследований, проведенных при полете двух экипажей на орбитальной станции «Салют-5»//Косм. биол. — 1977. — № 5. — С. 33—41.
Смирнов К. В., Уголев А. М. Космическая гастроэнтерология. — М.: Наука, 1981. — 277 с.
Соколов В. И. Реакция желудочковой системы головного мозга при антиортостазе и окклюзии яремных вен//Косм. биол. — 1984. — № 4. — С. 66—69.
Соколов В. И. Состояние гемодинамики и желудочковой системы головного мозга при антиортостатическом воздействии — 15°//Косм. биол. — 1985. — № 2. — С. 39—42.
Соколова И. В., Яруллин Х. Х. Система автоматического анализа реоэнцефалограммы//Косм. биол. — 1982. — № 4. — С. 81—82.
Сургучев А. П., Григорянц Р. А., Уроков В. Н. Натрийуретический фактор-гормон, вырабатываемый предсердием//Тер. арх. — 1987. — № 5. — С. 142.
Тигранян Р. А. Направленность процессов метаболизма у космонавтов после длительных полетов//Физиологические исследования в невесомости/Под ред. П. В. Симонова и И. И. Касьяна. — М., 1983. — С. 150—178.
Тишлер В. А., Степанцов В. И. Физическая тренировка в системе медико-биологического обеспечения длительных космических полетов//Физиологические исследования в невесомости. — М., 1983. — С. 267—285.
Турчанинова В. Ф., Касьян И. И., Домрачева М. В. Реографические исследования в невесомости//Физиологические исследования в невесомости/Под ред. П. В. Симонова и И. И. Касьяна. — М., 1983. — С. 100—124.
Федоров Б. М., Себекина Т. В. Изменения сердечной деятельности и регионарного кровообращения головы при гравитационных воздействиях, моделируемых с помощью антиортостаза//Пат. физиол. — 1982. — № 2. — С. 3.
Федоров И. В. Обмен веществ при гипокинезии. — М.: Наука, 1982. — 254 с.
Физиологические исследования в невесомости/Под ред. П. В. Симонова и И. И. Касьяна. — М.: Медицина, 1983. — 304 с.
Физиология в космосе: Пер. с англ. — М.: Медицина, 1972. — Кн. 1—2.
Эмануэль Н. М. Антиоксиданты и пролонгирование жизни//Биология старения. — М., 1982. — С. 569—585.
Юганов Е. М., Касьян И. И., Асямолов Б. Ф. Биоэлектрическая активность скелетной мускулатуры в условиях перемежающегося действия перегрузок и невесомости//Невесомость. — М., 1974. — С. 213—219.
Яковлева И. Я., Нефедова М. Ф. Слуховой анализатор//Результаты медицинских исследований, выполненных на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6» — «Союз»/Под ред. О. Г. Газенко. — М., 1986. — С. 165—168; 241—244.
Яруллин Х. Х. Клиническая реография. — М.: Медицина, 1983. — 270 с.
Яруллин Х. Х., Горнаго В. А., Васильева Т. Д., Гугушвили М. Е. Изучение прогностической значимости антиортостатической нагрузки//Косм. биол. — 1980. — № 3. — С. 48—54.
Яруллин Х. Х., Васильева Т. Д., Турчанинова В. Ф. и др. Компенсаторно-приспособительные реакции регионарной гемодинамики в невесомости при длительном космическом полете//Косм. биол. — 1984. — № 4. — С. 22—28.
Baumgarten R., von Benson A., Berthoz A. et al. Effects of rectilinear acceleration and optokinetic and caloric stimulations in space//Science. — 1984. — Vol. 225, N 4658. — P. 208—211.
Benson A. J. Thresholds of perception of whole body linear oscillation: modification by spaceflight//European symposium on life sciences research in space, 2nd: Potz Wahn, 1984. — P. 229—235.
Benson A. J. Motion sickness//Vertigo/Ed. M. R. Dix, J. D. Hood. Proceedings. — London, 1984. — P. 391—426.
Berry Ch. A. Menn's responseto a neu environment including weightlessness: Gemini biomedical results//Congress of the international astronnautical federation, 17th. — Madrid, 1966. — P. 32—39.
Cantin M., Genest J. The heard and the atrial natriuretic factor//Endocr. Rev. — 1985. — Vol. 6, N 2. — P. 107—127.
Carlborg B., Farmer J. C. Relationships of labyrinthine fluid pressures and blood flow//Laryngoscope. — 1983. — Vol. 93, N 8. — P. 998—1003.

Clément C., Curfinkel V. E., Lestienne F. et al. Adaptation of postural control to weightlessness/Exp. Brain Res. — 1984. — Vol. 57. — P. 61—72.
Clement G., Viéville T., Lestienne F., Berthoz A. Preliminary results of the «Equilibrium and vertigo» experiment performed during STS 51-9 Shuttle flight//International conference on space physiology, 2nd: Proceeding. — Toulouse, 1985. — P. 129—135.
Convertino V., Benjamin B., Keil L., Sandler H. Role of cardiac volume receptors in the control of ADH release during acute simulated weightlessness in man//Physiologist. — 1984. — Vol. 27. — Suppl. 6. — P. 51—52.
Genes I. J., Gautin M. The heart and the atrial natriuretic factor//Endocr. Rev. — 1985. — Vol. 6, N 2. — P. 107—127.
Gharib C., Gauquelin G., Geelen G. et al. Volume regulating hormones during simulated weightlessness//Physiologist. — 1985. — Vol. 28, N 6. — P. 30—33.
Hordinsky J., Gebhardt U. Orthostatic tolerance testing: comparison of LBNP and hut methods//Z. Flugwiss. Wetraumforsch. — 1980. — Bd 4. — S. 194.
Kozlovskaya I. B., Kornilova L. N., Sirota M. G. et al. Adaptation mechanisms in system of vestibulo-oculomotor interaction to the changes of vestibular function//Physiologic adaptation of man in space. — Houston, 1986. — P. 1—2.
Nicogossian A. E., Parker J. F. Space physiology and medicine. — Washington, 1982.
Oman C. M. Etiologic role of head movements and visual cues in space motion sickness on Spacelabs 1 and D-1//Physiologic adaptation of man in space. — Houston, 1986. — P. 5—5.
Parker D. E., Tjernström Ö., Ivarsson A. et al. Physiological and behaviornal effects of tilt-induced body fluid shifts//Aviat. Space Environ. Med. — 1983. — Vol. 54, N 5. — P. 402—409.
Parker D. E., Reschke M. F., Arrott A. P. et al. Otolith tilt-translation reinterpretation following prolonged weightlessness: implications for preflight training//Aviat. Space Environ. Med. — 1985. — Vol. 56, N 6. — P. 601—606.
Parker D. E., Rock J. C., Gierke H. E. et al. Space motion sickness prophylactic adaptation training preliminary studies of trainer prototypes//International astronautical congress: Abstracts. — Stockholm, 1985. — P. 232—233.
Perachio A. A., Correia M. J. Responses of semicircular canal and otolith afferents to small angle static head tilts in the gerbil//Brain Res. — 1983. — Vol. 280, N 2. — P. 287—298.
Pourcelot Z., Savilov A. A., Bystrov V. V. et al. Result of echocardiographic examination during 7 Days flight on board Saliot 7 June, 1982//Physiologist. — 1983. — Vol. 26, N 6. — Suppl. — P. 66—69.
Reschke M. F., Anderson D. J., Homick J. L. et al. The adaptation of vestibulo-spinal reflexes as a function of spaceflight and their relationship to space motion sickness//European symposium on life sciences research in space, 2nd: Proceedings. — Porz Wahn, 1984. — P. 237—245.
Thornton W. E., Rummel J. A. Measurement and prevention of muscle deconditioning on Skylab//Skylab life sciences Symposium: Proceedings. — Houston, 1974. — Vol. 1. — P. 401—414.
Thornton W. E., Biggers W. P., Pool S. L. et al. Electronystagmography and audio potentials in space flight//Laryngoscope. — 1985. — Vol. 95, N 8. — P. 924—932.
Thornton W. E., Pool S., Moore T., Vanderploog J. Characterization and etiology of space motion sickness//Physiologic adaptation of man in space//International man in space symposium, 7th. — Abstract. — Houston, 1986. — P. 1—1.
Vanderploeg J. M., Stewart D. F., Davis J. R. Space motion sickness//International conference on space physiology, 2nd: Proceedings. — Toulouse, 1985. — P. 137—142.

СОДЕРЖАНИЕ